



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Sociales

Escuela Profesional de Geografía

Estudio de peligros ambientales por dinámicas fluviales en la cuenca baja del río Tambo. Caso: distrito de Dean Valdivia y Punta de Bombón, provincia de Islay, Arequipa

TESIS

Para optar el Título Profesional de Geógrafo

AUTOR

Christian Miguel HUAREZ YARLEQUE

ASESOR

Miguel ALVA HUAYANEY

Lima, Perú

2018



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Huarez, C. (2018). *Estudio de peligros ambientales por dinámicas fluviales en la cuenca baja del río Tambo. Caso: distrito de Dean Valdivia y Punta de Bombón, provincia de Islay, Arequipa*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Sociales, Escuela Profesional de Geografía]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.



ACTA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE GEOGRAFO

En Lima a los quince días del mes de noviembre del dos mil dieciocho, reunidos en el Salón de Grados de la Facultad de Ciencias Sociales, bajo la presidencia del Dr. Juan Felipe Meléndez de la Cruz y con la asistencia de los miembros del Jurado y del Vicedecano Académico de la Facultad, se dio inicio a la sustentación de la Tesis presentada por el Bachiller Christian Miguel Huarez Yarleque, para optar el **TÍTULO PROFESIONAL DE GEOGRAFO**, titulada:

"ESTUDIO DE PELIGROS AMBIENTALES POR DINÁMICAS FLUVIALES EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO TAMBO. CASO: DISTRITO DE DEAN VALDIVIA Y PUNTA DE BOMBÓN, PROVINCIA DE ISLAY, AREQUIPA"

A continuación se formularon las preguntas y observaciones por parte de los miembros del Jurado. Luego de absueltas, el Jurado procedió a calificar la exposición de la Tesis obteniendo la nota:

16 (DIECISEIS)

El Jurado, de conformidad al Reglamento General de Grados y Títulos de la Facultad, acordó otorgar al Bachiller Christian Miguel Huarez Yarleque el **TÍTULO PROFESIONAL DE GEOGRAFO** y para dar constancia se extendió la presente Acta y firmaron:

Dr. Juan Felipe Meléndez De La Cruz
Presidente

Ing. Juan Daniel Calagua Chevez
Miembro

Geóg. María Luisa Varrillas Arquíñigo
Miembro

Geóg. Miguel Ernesto Alva Huayaney
Asesor

Dr. Francisco Quiroz Chuca
Vicedecano Académico

FQCH/cap

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado a todas las personas que pusieron un voto de confianza en mí, iniciando en mi familia, los más orgullosos de que haya optado por una investigación, siendo parte de todo el esfuerzo para lograr culminar el proyecto; mis amigos, colegas y profesionales, los cuales siempre me apoyaban en los momentos de debilidad cuando la templanza me era esquivia; mis asesores, docentes cuyo objetivo siempre fue hacer de mí un mejor investigador, error tras error, aprendí de ellos lo importante de un buen documento escrito y reconocer el logro luego de presentar la investigación; maestros, apoyándome en la investigación brindándome teoría, y nuevas publicaciones para lograr un documento actualizado y útil para la comunidad científica, y compañeros de estudios que me han acompañado en este corto camino de estudios y me siguen dando su mano para seguir adelante en el largo camino de la vida profesional.

Agradecimientos

Agradecimientos especiales de forma particular a mis padres, César y Ruth, cuyo apoyo moral, presión y brindarme todo lo necesario para lograr finalizar esta tesis, por y para ellos es esta investigación.

Al Dr. Patricio Valderrama, a quién considero co-autor de esta tesis, uno de los pocos profesionales que me brindó su tiempo, conocimiento y consejos para empezar a escribir y culminar la tesis, desde las primeras palabras motivándome que realizar una tesis no tiene punto de comparación con otros métodos. Nada de esto se hubiera logrado sin ti amigo, muchas gracias.

A Hilario Castro, guardaparque del SNLM quién me brindó todo el apoyo cuando inicie mi trabajo de campo, logística, un techo donde dormir, compartir su experiencia y buen trato conmigo y con otros investigadores, muchas gracias.

Al Ing. Lionel Fidel, asesor presidencial de INGEMMET, quién al enterarse de mi tesis me brindó todo el apoyo posible para desarrollar mi investigación, supervisando cada etapa de mi investigación y recomendándome nuevas publicaciones, así como la posibilidad de capacitarme en modelos numéricos y nuevas tecnologías geográficas, fundamentales para esta investigación.

Al Ing. Lucio Medina, investigador de INGEMMET, quién mientras me asesoraba en mis prácticas me brindó todo el apoyo para desarrollar mi tesis, incluyendo parte logística para el trabajo de campo y material bibliográfico con nuevos métodos en este tipo de investigación.

Al geógrafo Miguel Alva, docente y asesor de esta tesis, quién desde el primer momento confió en mí, y a pesar de todos los momentos críticos que se pasaron en el desarrollo de esta tesis, finalmente siempre confió y siguió apoyándome para terminar la tesis, tanto logística como espiritualmente, que son dos de las mejores cosas que uno puede recibir al desarrollar una investigación de este tipo. Muchas gracias profesor Miguel.

A Jhoselyn Barriga, mi profundo agradecimiento hacia ti, a pesar de todos los momentos difíciles que pasamos al realizar la tesis, fueron cruciales tus palabras de aliento en los primeros momentos de realizar el documento inicial, estar conmigo cuando logré el reconocimiento, apoyarme en cada momento de la tesis, darme ánimo para las amanecidas, y finalmente cuando se iba a sustentar todo el apoyo para poder lograr todo lo que me propuse por los casi tres años que me llevó culminarlo. Contigo, eternamente agradecido.

A Miguel Moisés, Jasson Fernández, Fernando Molina, quienes directamente me brindaron parte de su tiempo para apoyarme con material bibliográfico y científico, que fue fundamental para el desarrollo de la tesis en varios capítulos. Gracias por todo ello.

A mis geoamigos, quienes estuvieron conmigo el día de mi sustentación y demostrando que a pesar de los cuatro años que llevábamos sin vernos, siempre estarán ahí apoyándome y fomentando una buena amistad duradera. Muchas gracias.

Agradecimientos póstumos, a todas las personas que desde el cielo me apoyan y me brindaron lucidez en los momentos más críticos de la investigación, desde mis abuelos hasta mis amigos que en vida siempre me dieron palabras de aliento. Muchas gracias.

A Diego Padilla, amigo incondicional que siempre estuvo presente cuando más necesite un soporte moral, alentándome a terminar la tesis, y demostrarme, con el ejemplo, que el desarrollo de una tesis es una herramienta fundamental en cualquier profesional.

A cada uno de ustedes que está leyendo esta tesis, por demostrar interés en mi investigación y espero que sea de mucha ayuda en cada una de sus interrogantes.

Resumen

La presente investigación desarrolla una nueva metodología para el estudio de peligros ambientales, basándonos en las inundaciones fluviales como factor desencadenante de los peligros en la desembocadura de los valles fluviales.

A partir del análisis bibliográfico y metodológico de los diferentes antecedentes internacionales y nacionales de modelos de peligros, la metodología propuesta considera el análisis geográfico del territorio como base de un modelo de peligros, considerando como variables ambientales la geomorfología, geología y la vegetación para lograr un primer escenario de zonas susceptibles a las dinámicas del territorio. Asimismo, utiliza una simulación numérica para determinar zonas posibles de inundación en función al caudal máximo del río. La combinación de estos dos escenarios mediante un análisis ponderado dio como resultado zonas de peligro en las categorías Alto, Moderado y Bajo para toda la zona de estudio.

Las zonas críticas fueron consideradas los niveles de peligro Alto y moderado en conjunto, dando un total de 546.40 ha, siendo un aproximado de 44% del total del área investigada que podría sufrir los efectos de una posible inundación luego de registrarse un caudal extremo en la cuenca baja del río Tambo.

Finalmente, se hace una breve comparación de las ventajas y desventajas con las metodologías estudiadas y se hace una propuesta para los próximos modelos que tengan escenarios territoriales similares a las descritas en la investigación.

Palabras clave: Peligros, Inundaciones; Simulación; Escenarios; Río Tambo; Valle fluvial

Abstract

The present research develops a new methodology for the study of environmental hazards, based on fluvial floods as a trigger factor for the hazards at the mouths of the river valleys.

From the bibliographic and methodological analysis of the different international and national antecedents of hazard models, the proposed methodology considers the geographic analysis of the territory as the basis of a hazard model, considering geomorphology, geology and vegetation as environmental variables to achieve a first scenario of susceptible zones to the dynamics of the territory. Likewise, it uses a numerical simulation to determine possible flood zones according to the maximum flow of the river. The combination of these two scenarios through a weighted analysis resulted in danger zones in the High, Moderate and Low categories for the entire study area.

The critical zones were considered high and moderate hazard levels together, giving a total of 546.40 ha, being approximately 44% of the total area investigated that could suffer the effects of a possible flood after registering an extreme flow in the Lower basin of the Tambo river.

Finally, a brief comparison of the advantages and disadvantages with the methodologies studied is made and a proposal is made for the next models that have territorial scenarios similar to those described in the research.

Keywords: Hazard, Flood, Simulation, Scenarios, Tambo river; Fluvial valley

Índice

CAPÍTULO 1 ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1 Introducción	2
1.2. Ubicación del área de estudio.....	3
1.3. Accesibilidad del área	5
1.4. Condiciones climáticas.....	6
1.5. Planteamiento del problema	8
1.6. Objetivos	9
1.6.1. Objetivos generales.	9
1.6.2. Objetivos específicos.....	9
1.7. Hipótesis general	9
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO	10
2.1 Introducción	11
2.2 Cuenca Hidrográfica.....	11
2.2.1 Cuenca alta	13
2.2.2 Cuenca media	13
2.2.3 Cuenca baja	13
2.3 Ciclo hidrológico.....	14
2.3 Aguas superficiales	16
2.4 Peligros ambientales.....	22
2.4.1 Definición de Peligros ambientales.....	23
2.4.2 Caracterización de los Peligros ambientales	23
CAPÍTULO 3 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	25
3.1 Contexto histórico internacional	26
3.2 Contexto histórico nacional.....	37
CAPÍTULO 4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	56
4.1 Introducción	57
4.2 Trabajo de pre campo o gabinete	57
4.2.1 Información general de la cuenca del río Tambo	57
4.2.2 Trabajos científicos anteriores en el río Tambo	61
4.2.3. Elección de las Variables ambientales	64
4.2.4. Aspectos sociales de la cuenca hidrográfica Tambo	67
4.2.5 Áreas Naturales Protegidas en la Cuenca del río Tambo	80
4.2.6. Elección del área de estudio	84

4.2.7. Recopilación de información cartográfica preliminar sobre variables ambientales	86
4.2.7. Escalas de trabajo	106
4.3 Trabajo de campo	108
4.3.1 Esquema de trabajo de campo	108
4.3.2 Instrumentos para el trabajo de campo	109
4.3.3 Matriz de levantamiento de información.....	111
4.3.4 Cartografía base para el trabajo de campo	111
4.4 Trabajo de Postcampo o Laboratorio	114
4.4.1 Actualización de información de Variables Ambientales	114
4.4.2 Generación de la simulación Hidrológica-Topográfica	122
4.4.3 Generación del Modelo de Peligros Ambientales por Dinámicas Fluviales	126
CAPÍTULO 5 DISCUSIONES	135
5.1. Comparación de Resultados con otros Modelos aplicados en Perú	136
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	138
6.1 Conclusiones	139
6.2 Recomendaciones	140
BIBLIOGRAFÍA.....	141

Lista de figuras

Figura 01: Mapa de ubicación del área de estudio.....	4
Figura 02: Vista panorámica del área de estudio.	5
Figura 03. Mapa de accesibilidad de la zona de estudio.....	6
Figura 04: Mapa climático regional del departamento de Arequipa.....	7
Figura 05. Esquema metodológico sobre las partes de la cuenca hidrográfica del río Rímac.....	12
Figura 06. Representación cualitativa del ciclo hidrológico.....	14
Figura 07. Esquema de los procesos de erosión y sedimentación en una corriente fluvial.	18
Figura 08. Formas de relieve formadas en la desembocadura de las aguas superficiales.	21
Figura 09. Cuadro evolutivo de la concepción de la cartografía de inundación fluvial en España.	27
Figura 10. Corte del plano de probabilidad de inundaciones a escala 1:5000 del mapa previsor de Almería	28
Figura 11. Cronología de un flujo de lodo (Mudflood) en la localidad de Rudds Creek, Virginia, EE. UU.....	29
Figura 12. Instrumento cartográfico utilizado en el estudio de inundaciones en Tegucigalpa, Honduras	31
Figura 13. Mapa de “Flash flood” o Inundaciones locales desde 1959 hasta 2005	32
Figura 14. Cuadro que presenta los diferentes tipos de mapas de inundaciones fluviales existentes en Europa para el año 2009. Fuente: Modificado de (Baretino, et. al., 2009)	33
Figura 15. Imagen del Deslizamiento - Represamiento La Josefina(a), en la ciudad de Cuenca, Ecuador	34
Figura 16. Esquema del proyecto de cooperación Colombia-Japón.....	36
Figura 17. Ilustración de algunos de los métodos prehispánicos para la reducción de riesgos de desastres y la gestión de los recursos naturales.	37
Figura 18. Mapa de Inundación del curso inferior del río Piura.	40
Figura 19. Mapa Geodinámico del curso inferior del río Camaná, donde se detalla el área de inundación en el valle del mismo nombre.	40
Figura 20. Registro de evento de inundaciones en el Perú en el periodo 1970-2005.....	43
Figura 21. Comparación de cartografías de peligros por aluviones para la ciudad de Ollantaytambo, Cuzco.	44

Figura 22. Mapa de susceptibilidad física del Perú.	46
Figura 23. Mapa de vulnerabilidad física del Perú	47
Figura 24. Zonificación de riesgos de la cuenca del Chira – Sector Sullana.....	49
Figura 25. Mapa de susceptibilidad física del Perú: Zonas propensas a inundaciones en la Costa y Sierra frente a la ocurrencia de Eventos Hidrometeorológicos extremos.	50
Figura 26. Croquis del establecimiento de la Faja Marginal en un curso de agua.	52
Figura 27. Diferentes escenarios de inundación en la cuenca del río Santa.	53
Figura 28. Análisis de sectores críticos por Inundación en la cuenca del río Santa, en el tramo 0-5+000.	54
Figura 29. Cartografía generada con el visor Geohidro 2.0, para la Cuenca Piura en el sector Sullana.....	55
Figura 30. Mapa base de la cuenca del río Tambo	58
Figura 31. Cuadro con valores de los parámetros geomorfológicos de la cuenca	59
Figura 32. Polígono de frecuencias del río Tambo	59
Figura 33. Perfiles topográficos tomados en la cuenca baja (a) y cuenca media (b) del río Tambo.	60
Figura 34. Carta geológica elaborada por la Sociedad Geológica y Minera del Perú en 1963	61
Figura 35. Mapas de textura y profundidad del valle del río Tambo.....	62
Figura 36. Mapa de suelos y aptitud para riego del valle del río Tambo.....	63
Figura 37. Puntos de muestreo de aguas superficiales tomados por MINAGRI para el monitoreo de calidad de aguas.	64
Figura 38. Ubicación de proyectos mineros en la cuenca del río Tambo.	77
Figura 39. Ubicación del proyecto Tía María y modelos obras de infraestructura para la deposición de relaves minero.	79
Figura 40. Mapa base de la cuenca del río Tambo, indicando las ANP (señaladas con flechas) que se encuentran dentro de su extensión.....	80
Figura 41. Ubicación del Santuario Nacional Lagunas de Mejía en la cuenca baja del río Tambo.	81
Figura 42. Zona de conflictos por actividades agrícolas en el SNLM	82
Figura 43. Zonificación ambiental del SNLM, donde se resalta la Zona de recuperación y Uso especial cercanas al cauce del río Tambo.	83

Figura 44: Cuadro resumen con criterios para la elección de un área de investigación.	84
Figura 45. Área de investigación propuesta donde se indican los límites y el área que ocupa. ...	85
Figura 46. Cuadro metodológico para la validación del área de estudio.	86
Figura 47. Mapa geológico preliminar de la cuenca baja del río Tambo	87
Figura 48 Mapa geomorfológico preliminar de la cuenca baja del río Tambo.....	90
Figura 49: Mapa de vegetación preliminar de la cuenca baja del río Tambo	94
Figura 50: Mapa de suelos preliminar de la cuenca baja del río Tambo	99
Figura 51. Estaciones hidrológicas en la cuenca del río Tambo.	102
Figura 52. Aproximación del ciclo hidrológico entre los años 1965-1970.....	103
Figura 53. Cuadro resume de la información cartográfica disponible.	105
Figura 54. Cuadro donde se presentan las escalas con sus magnitudes reales.	106
Figura 55. Cuadro donde se presentan el nivel de los estudios del relieve y sus escalas de trabajo correspondientes.	107
Figura 56. Cuadro resumen de las escalas de trabajo para cada variable ambiental.	107
Figura 57: Esquema general del trabajo de campo.	109
Figura 58. Cuadro de equipos utilizados para el trabajo de campo	110
Figura 59. Matriz utilizada en campo para levantamiento de información.	111
Figura 60. Mapas base elaborados para el registro de puntos de control y levantamiento de información.....	112
Figura 61: Desplazamiento del cauce antiguo, designado (RT 11) en 30 metros dirección Sureste, donde se levantó el punto (AC02).	113
Figura 62. Mapa geológico actualizado del área de estudio.	115
Figura 63. Corte geológico A - B de la cuenca baja del río Tambo	116
Figura 64. Corte geológico A' - B' de la cuenca baja del río Tambo.....	116
Figura 65. Mapa geomorfológico actualizado del área de estudio.	117
Figura 66. Corte geomorfológico A' - B' de la cuenca baja del río Tambo.	119
Figura 67. Corte geomorfológico A' - B' de la cuenca baja del río Tambo.	119
Figura 68. Mapa de vegetación actualizado del área de estudio.	120
Figura 69. Mapa de suelos actualizado del área de estudio.	121
Figura 70. Funcionamiento del algoritmo del software utilizado.	122

Figura 71. Máximas avenidas calculadas para la estación Chucarapi en la cuenca media del río Tambo.	123
Figura 72. Funcionamiento del algoritmo del software utilizado	124
Figura 73. Resultado de la simulación hidrológica topográfica	125
Figura 74. Capas de información en la herramienta Evaluación ponderada. Fuente: Elaboración propia	130
Figura 75. Mapa de susceptibilidad ambiental con las variables analizadas	131
Figura 76. Capas de información en la herramienta Evaluación ponderada.....	132
Figura 77. Modelo final de peligros ambientales por dinámicas fluviales.	133
Figura 78. Cuadro donde se describen los niveles de peligro del modelo de peligros ambientales en el área de estudio.	134
Figura 79. Comparación de Resultados de modelos de inundaciones en el Perú con el resultado del modelo generado.....	137

Lista de tablas

Tabla 01. Información política del área de estudio.....	3
Tabla 02. Datos cartográficos del área de estudio.	4
Tabla 03. Cuadro comparativo sobre población total entre los distritos de Punta de Bombón y Dean Valdivia.....	70
Tabla 04. Cuadro de producción agrícola para consumo directo humano y la agroindustria en los distritos que conforman la cuenca baja del río Tambo.	72
Tabla 05. Producción pecuaria en los distritos que conforman la cuenca media y baja del valle del río Tambo.....	72
Tabla 06. Volumen de extracción de pesca en la cuenca baja del río Tambo.	74
Tabla 07. Población Económicamente Activa de los distritos que componen el Valle del río Tambo.	76
Tabla 08. Clasificación de los atributos de la capa de Geología.	127
Tabla 09. Clasificación de los atributos de la capa de Vegetación.	128
Tabla 10. Clasificación de los atributos de la capa de Geomorfología.....	129

CAPÍTULO 1
ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

Las cuencas fluviales de la vertiente del Pacífico en el sur del Perú son muy conocidas por ser de gran importancia para el desarrollo de la agricultura y ganadería a nivel nacional. Los valles agrícolas formados en los ríos Camaná, Majes, Quilca, Tambo, tienen gran importancia en el mercado nacional, pues son proveedores directos de miles de toneladas de productos de panllevar como cereales, vegetales y frutales.

Sin embargo, en la última década se han producido eventos extremos relacionados con las precipitaciones en la zona sur del Perú, lo que ha producido pérdidas de terrenos de cultivos en las zonas aledañas a los ríos de esta vertiente. Uno de ellos, el río Tambo, ha presentado un gran cambio en su cauce fluvial, el cual se desplazó alrededor de 1km en dirección SE en el año 2011.

Otro aspecto a tener en cuenta es que los estudios existentes que abarcan la zona de estudio son de carácter regional, están desfasados temporalmente (fueron desarrollados en los años 1980), por lo que la información que contienen en relación a las dinámicas ambientales e hidrológicas difiere mucho del contexto ambiental actual.

Esta tesis tiene como objetivo zonificar y clasificar los grados de peligros ambientales que tienen como génesis las dinámicas fluviales en la cuenca baja y el estuario del río Tambo. Esta clasificación se ha desarrollado utilizando criterios basados en los lineamientos metodológicos de diferentes instituciones científicas nacionales como internacionales (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED); Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET); Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España (MAPAMA); Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Servicio geológico de los Estados Unidos (USGS), etc.) los cuales aportan diferentes métodos y técnicas

para el desarrollo de estudios de peligros y riesgos de desastre. El desarrollo del estudio bajo estos criterios otorga a la cartografía resultante de esta investigación una base científica y metodológica que puede ser utilizada por las organizaciones locales en su actuar conjunto para la gestión de riesgos y desastres.

1.2. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se ubica en el departamento de Arequipa, en la provincia de Islay, entre los distritos de Dean Valdivia y Punta de Bombón (Tabla 01) (Figura 01 y 02), explicada de la siguiente forma:

Tabla 01. Información política del área de estudio. La altitud promedio ha sido calculada mediante medición de GPS navegador en el trabajo de campo. Fuente: (Instituto Geográfico Nacional (IGN), 2008)

Generalidades	Descripción
Sectores:	La curva, Catas, Estuario del Río Tambo
Distritos:	Dean Valdivia – Punta de Bombón
Provincia:	Islay
Departamento:	Arequipa

Cartográficamente, la zona de estudio se encuentra delimitada en el polígono que comprende las siguientes coordenadas geográficas y métricas (Tabla 02):

Tabla 02. Datos cartográficos del área de estudio. Las coordenadas métricas pertenecen al Datum WGS84 zona 19S con SRC 32719. Las conversiones geográficas se realizaron utilizando el Datum mundial D-WGS 84.

Fuente: Elaboración Propia

Número	Norte	Este	Latitud	Longitud
01	8099031	201502	-17.174	-71.806
02	8099031	196942	-17.173	-71.849
03	8102031	201490	-17.147	-71.806
04	8102035	196942	-17.146	-71.848

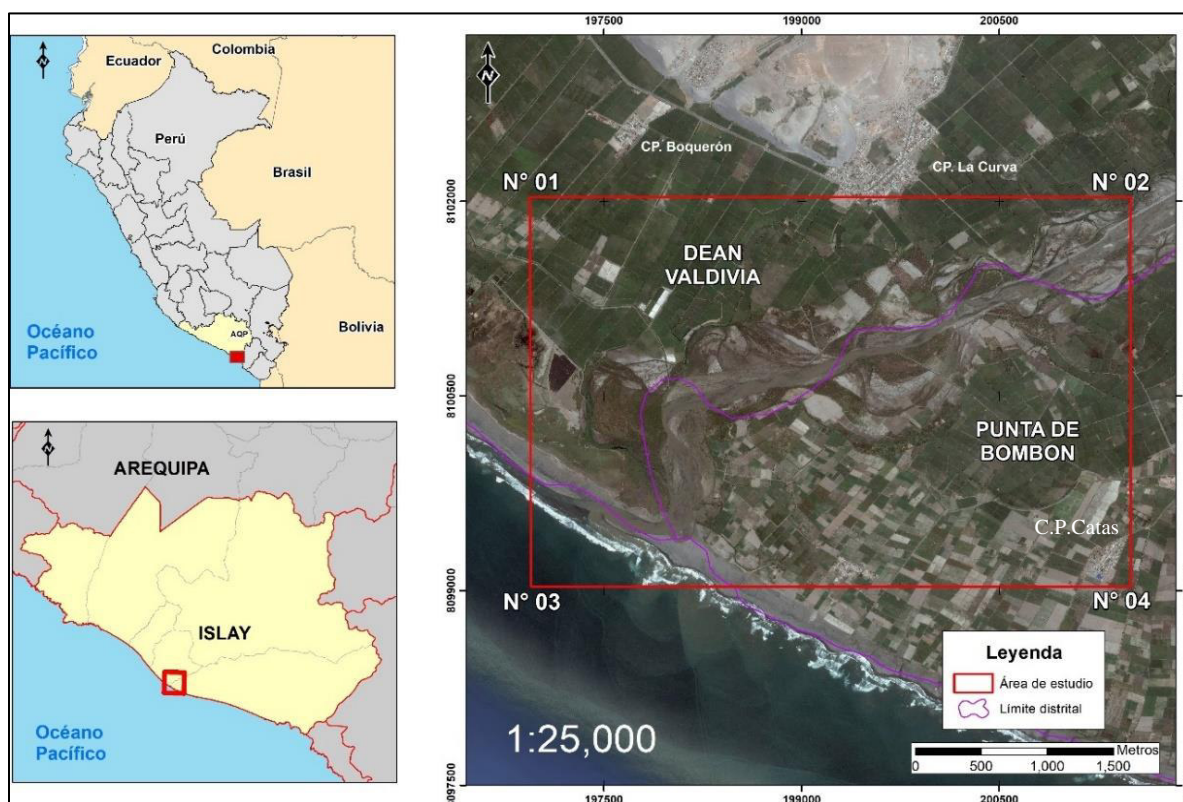


Figura 01: Mapa de ubicación del área de estudio. Fuente: Elaboración Propia



Figura 02: Vista panorámica del área de estudio. Fuente: Elaboración Propia, imágenes Google Earth.

1.3. Accesibilidad del área

La accesibilidad al área de estudio se realiza desde la ciudad de Arequipa, a través de carreteras asfaltadas de acuerdo al siguiente detalle:

Desde la ciudad de Arequipa hacia la ciudad de Mollendo, a través de la variante Uchumayo y la panamericana Sur, pasando por la ciudad de Matarani, con un recorrido aproximado de 126km. Luego de la ciudad de Mollendo hacia el centro poblado La Curva, a través de la carretera nacional Panamericana Sur, con un trayecto aproximado de 24km. Finalmente, el acceso al área de estudio es a través de trochas afirmadas y caminos de herradura entre los terrenos de cultivos próximos al centro poblado La Curva. (Figura 03)



Figura 03. Mapa de accesibilidad de la zona de estudio. Fuente: Elaboración Propia

1.4. Condiciones climáticas

El departamento de Arequipa comprende climas desde el Árido, semicálido y deficiente de lluvia en las costas del departamento, hasta el clima Lluvioso, semifrío y deficiente de lluvia en sus máximas altitudes. (Valderrama, Huarez, Araujo, & Fidel, 2016) y en relación a los pisos altitudinales definidos por Javier Pulgar Vidal (Pulgar, 1940) se encuentran desde la Región Costa o Chala, hasta la región Janca o Cordillera.

La zonificación climática del área de estudio es considerada como Árido, Semicálido, húmedo con deficiencia de lluvias, según la clasificación de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948) y se ubica

en la Región Costa o Chala de acuerdo a la clasificación altitudinal desarrollada por Pulgar Vidal.
(Pulgar, 1940) (Figura 04)

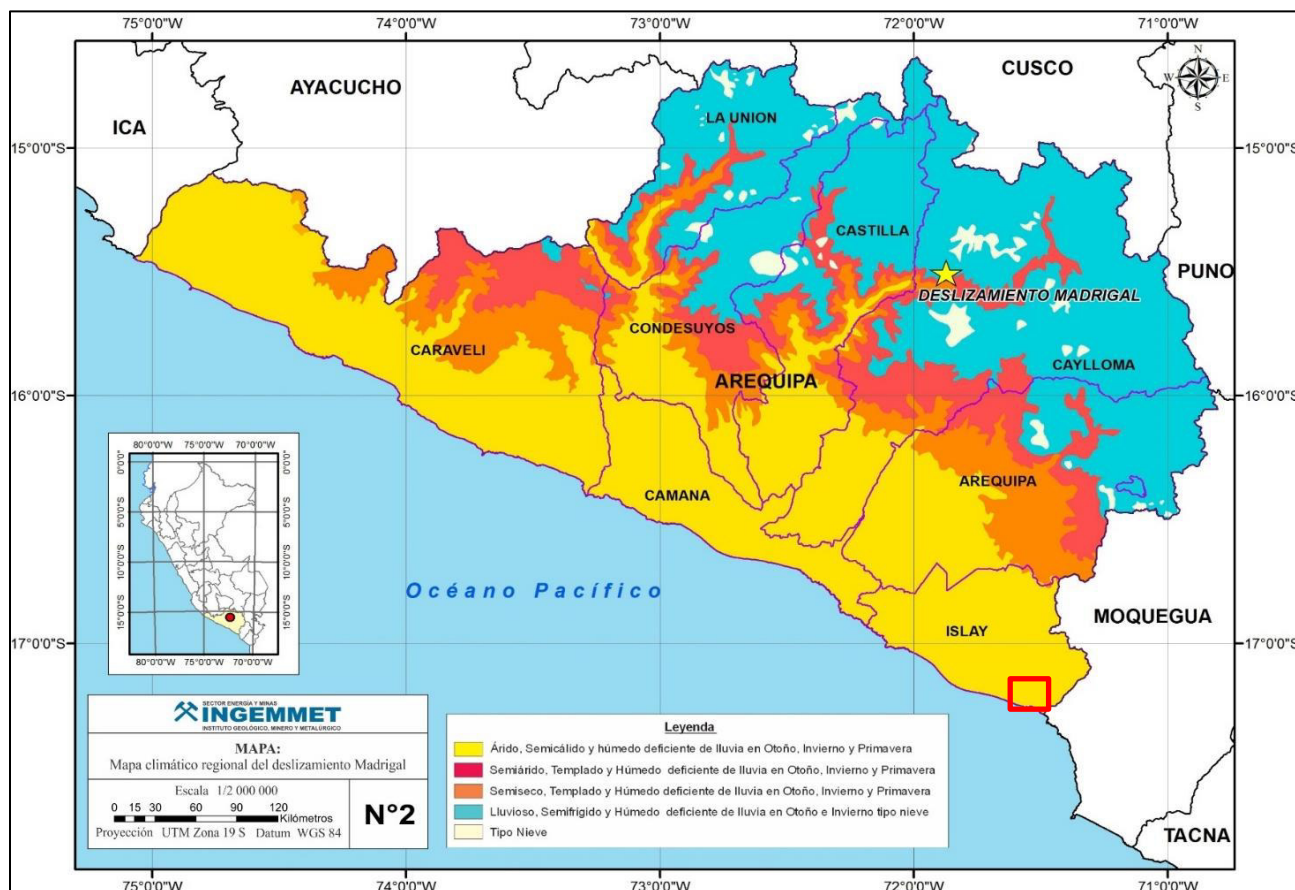


Figura 04: Mapa climático regional del departamento de Arequipa. Fuente: (Valderrama et. al, 2016)

La cuenca baja del río Tambo es caracterizada por ser un valle fértil y de pendiente muy llana, ideal para cultivos con riego por inundación principalmente el arroz. Estas actividades económicas han ido modificando las condiciones físicas del Valle del Tambo, eliminando vegetación natural y uniformizando pendientes para aprovechar al máximo los terrenos fértiles.

En los últimos años, la dinámica fluvial en el río Tambo ha tenido efectos notorios en el territorio, siendo el año 2011 el principal de ellos, ya que desplazó el cauce del río Tambo

aproximadamente 1 km al SE. Así también, los retrasos en el ciclo anual de lluvias han generado déficit hídrico en la cuenca y luego precipitaciones extremas que sobrepasaron la capacidad de carga del cauce, generando la pérdida de terrenos de cultivo.

A pesar de las inundaciones anuales y pérdidas de cultivos en la zona de estudio, no se han realizado aún estudios a detalle de la hidrología y la geomorfología, lo que conlleva a no tener una respuesta efectiva ante un nuevo evento climático extremo de lluvias en toda la zona sur del Perú.

Por consiguiente, la problemática del área de estudio es la pérdida de terrenos de cultivos debido a la dinámica fluvial del río Tambo asociado a precipitaciones pluviales de magnitud normal y/o extremas.

1.5. Planteamiento del problema

Los constantes cambios anuales en la dinámica fluvial de la cuenca baja del río Tambo, requiere que sea estudiada de forma periódica y detallada. Sin embargo, los estudios científicos existentes que abarcan la zona de interés son de carácter regional, a escalas menores de 1:100 000, y sin actualizaciones periódicas, por lo que no evidencian los procesos dinámicos que ocurren en el cauce, llanuras de inundación y zonas de influencia del río Tambo.

Debido a que el estudio de peligros ambientales es una herramienta base para la gestión de riesgos de desastres, este estudio proporcionará información detallada para el desarrollo de planes y ordenanzas orientadas a disminuir las consecuencias de las dinámicas fluviales en el Valle del río Tambo.

Asimismo, proporcionará una óptica al detalle, complementaria al trabajo que desarrollan las instituciones locales como Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP), los municipios de Deán Valdivia y Punta de Bombón y la Autoridad Local del Agua Tambo (ALA-

Tambo), aportando nuevos escenarios al sistema de gestión de riesgos y desastres local y recomendaciones basadas en las características físicas de la cuenca baja del río Tambo.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivos generales.

Determinar los peligros ambientales por dinámicas fluviales en la cuenca baja a escala detallada, considerando los procesos dinámicos del medio físico, y las consecuencias en el entorno social y las actividades económicas en el área de estudio.

1.6.2. Objetivos específicos.

- Realizar un mapeo de los componentes ambientales (geología, suelos, vegetación, etc.) dentro del área de estudio.
- Desarrollar un modelo de peligros ambientales para evaluar los efectos de las dinámicas fluviales en el área de estudio.
- Proponer mejoras metodológicas para realizar evaluaciones del medio físico con relación a las dinámicas fluviales en ríos costeros.

1.7. Hipótesis general

Las dinámicas fluviales limitan la actividad agrícola en el área de estudio ubicado entre los distritos de Dean Valdivia y Punta de Bombón, provincia de Islay, en la región Arequipa.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

La presente investigación analiza la dinámica fluvial que se presenta en la parte baja de la cuenca hidrográfica del río Tambo, donde interactúa con el medio físico y social, generando cambios en la configuración del relieve y en las actividades socioeconómicas del territorio. Asimismo, este documento utiliza el análisis previo para definir una zonificación de peligros en función de la posibilidad de afectación del medio físico por las mencionadas dinámicas y su influencia final en las actividades socioambientales.

En ese sentido, es necesario desarrollar estos términos generales para comprender cada uno de los aspectos tratados en la problemática a investigar.

2.2 Cuenca Hidrográfica

La cuenca hidrográfica se considera a toda la superficie del terreno delimitado por límites topográficos definidos donde las condiciones físicas permiten la acumulación de agua en un punto definido a partir del cual se inicia el drenaje en la cuenca hasta llegar a una desembocadura que puede ser el océano, un río de mayor extensión, un lago o una red de agua subterránea.(ANA, 2011). Basados en su drenaje las cuencas se clasifican en:

- **Cuenca exorreica**, donde las aguas drenan hasta el océano. Son el tipo de cuencas más común a nivel mundial.
- **Cuenca endorreica**, donde las aguas desembocan a lagos o lagunas y no tienen ningún contacto con el océano
- **Cuenca arreica**, donde las aguas se evaporan o filtran en su totalidad antes de encauzarse en una red de drenaje. (Sociedad Geográfica de Lima, 2012)

Basados en el relieve y la hidrografía de la cuenca, esta se divide en tres sectores: Cuenca alta, media y baja por los cuales discurre el agua hasta llegar a trayecto final en su desembocadura o filtración. (Figura 05)

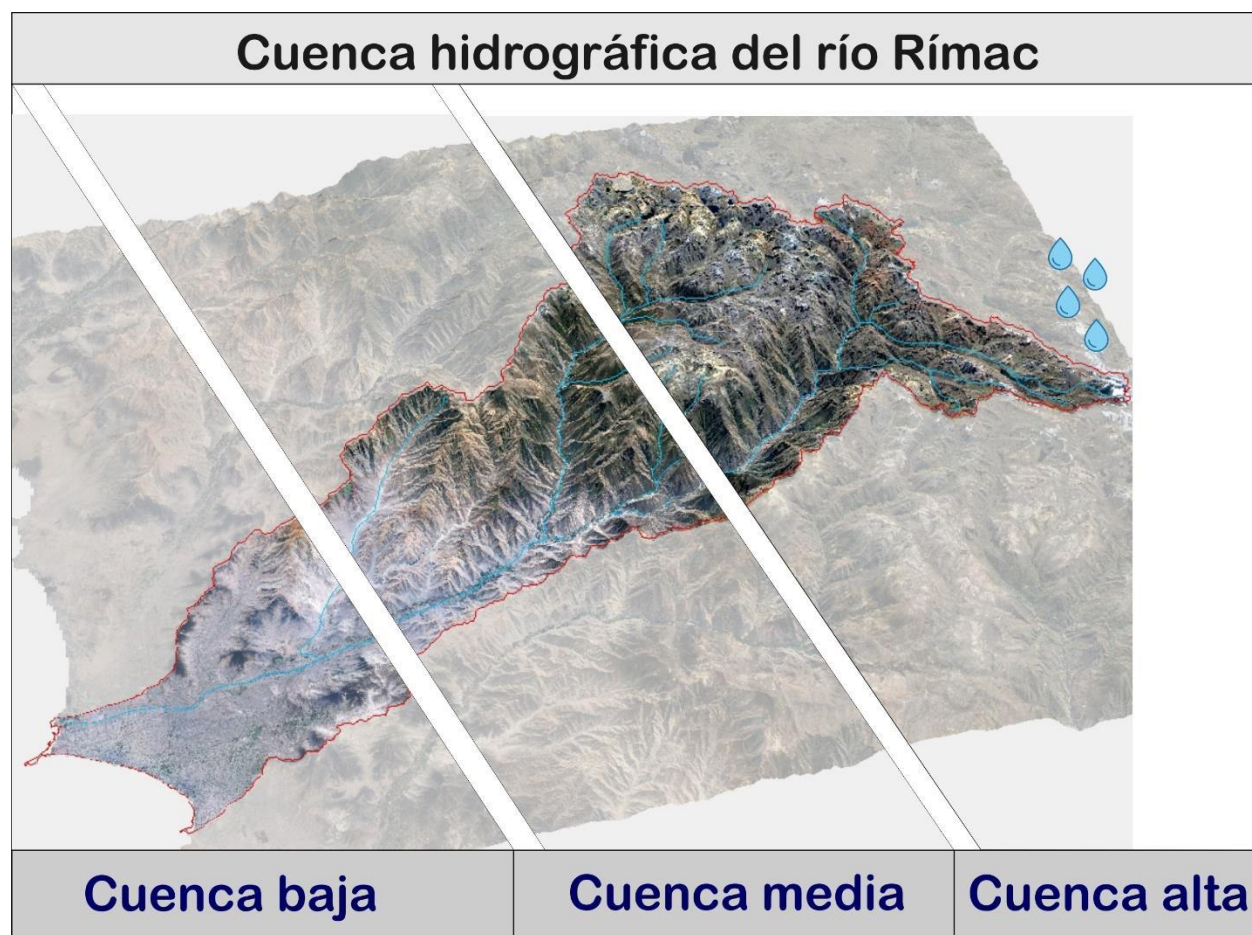


Figura 05. Esquema metodológico sobre las partes de la cuenca hidrográfica del río Rímac. Cuenca de tipo exorreica; se indica en la cuenca alta el punto de concentración de aguas. Fuente: Elaboración propia.

2.2.1 Cuenca alta

La cuenca alta o cuenca de recepción es el sector que corresponde a las áreas montañosas, de pendientes abruptas en las laderas de montaña, donde se delimita por la línea divisoria de aguas. En cuencas que tienen altitudes superiores a los 4000msnm. es común encontrar nevados y lagunas en las pendientes más suaves donde se almacena el agua superficial y sirve como reservorio natural de agua. (Vásquez, et. al., 2016)

2.2.2 Cuenca media

La cuenca media es donde discurren y se conectan los primeros drenajes de las partes altas. Es la zona de transporte de material residual a través del río, el cual presenta un cauce definido generando los relieves en forma de valles. (Vásquez, et. al., 2016)

2.2.3 Cuenca baja

La cuenca baja es el sector donde desembocan las aguas y materiales que han sido transportados desde las partes más altas de la cuenca. Pueden desembocar a otros ríos (caso de las subcuencas) o a otras unidades hidrográficas (océanos, lagos, etc.), como también ser el punto donde el agua se filtra totalmente y no es posible rastrear su continuación. (Vásquez, et. al., 2016)

El sistema biofísico de la cuenca está directamente relacionado por los fenómenos climatológicos locales o regionales, los cuales son los responsables de la distribución inicial del agua en la cuenca, en el llamado “Ciclo hidrológico”. (Vásquez, et. al., 2016)

2.3 Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es un conjunto de procesos por los cuales el agua ingresa al sistema biofísico de la cuenca. Estos procesos son los que describen los sucesivos y diferentes cambios de estado del agua a lo largo de la cuenca. (Figura 06)

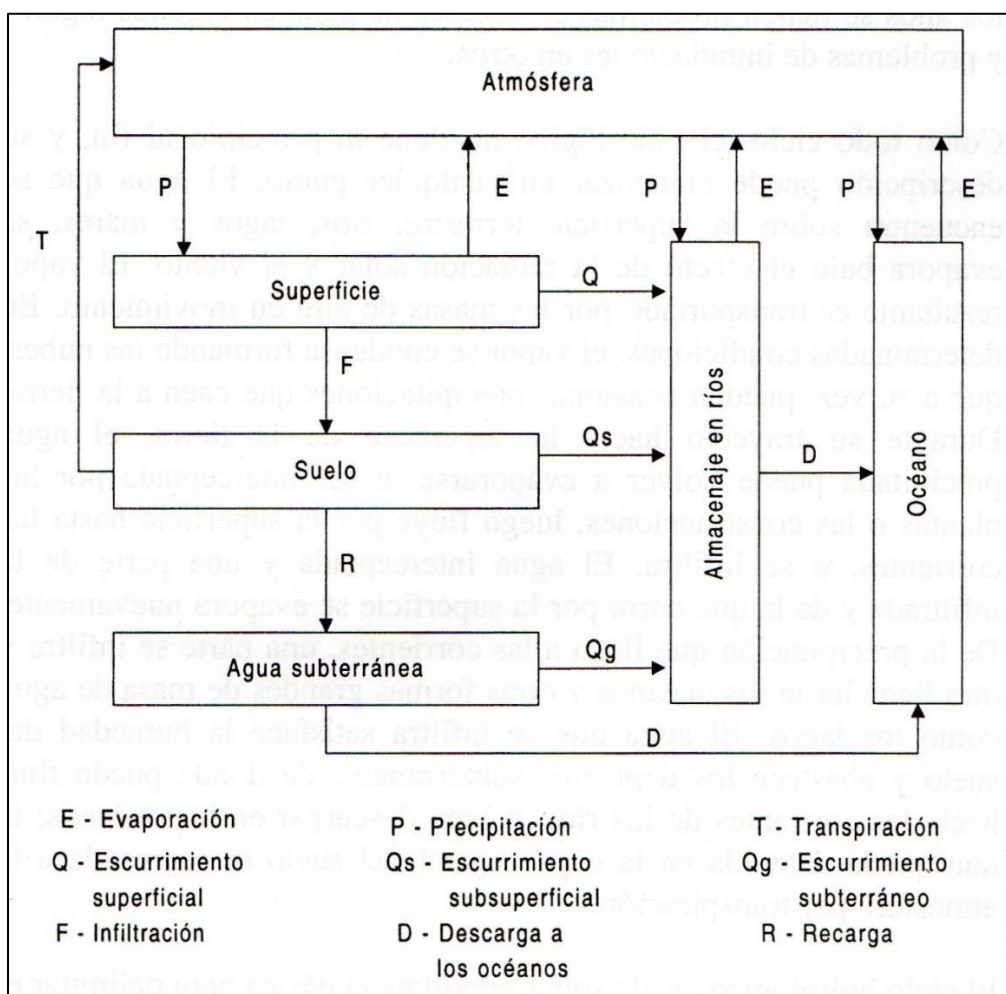


Figura 06. Representación cualitativa del ciclo hidrológico. Fuente: (Villón, 2011)

Estos procesos no tienen un principio ni un punto final, es completamente irregular y se puede describir desde cualquier fase o proceso (Villón, 2011). Sin embargo, para fines metodológicos es posible darle una secuencia lógica para la comprensión de los procesos.

- El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre se evapora por efecto de la radiación y el viento.
- El vapor resultante es transportado por las masas de aire en movimiento. Bajo ciertas condiciones atmosféricas, el vapor se condensa y forma las nubes.
- Las nubes son transportadas por las masas de aire hacia el continente, proceso durante el cual se pueden el agua contenida se puede precipitar sobre la superficie donde discurre superficialmente o se infiltra.
- Del total de agua precipitada que llega a las corrientes, una parte se infiltra en el terreno, otra forma grandes masas de agua como los lagos y otra parte llega hasta los océanos.
- El agua que se infiltra satisface la humedad del suelo y abastece a los depósitos subterráneos, de donde pueden volver a surgir a la superficie o llegar directamente al océano.
- Por último, el agua que es retenida en la superficie por la biosfera regresa a la atmosfera en forma de transpiración. (Villón, 2011)

2.3 Aguas superficiales

El agua precipitada en la cuenca hidrográfica que no se infiltró ni evaporó se denomina “aguas superficiales” (Vásquez, et. al., 2016). Estas aguas pueden clasificarse de acuerdo a sus características dinámicas:

- **Aguas lóaticas**, que son todas aquellas aguas que permanecen en movimiento en una dirección determinada. Ejemplos de estas aguas son los ríos, riachuelos, arroyos, etc.
- **Aguas lénticas**, que son todas aquellas aguas que se acumulan y no presentan mayor dinámica. Ejemplos de ello son los lagos, las lagunas, humedales, etc. (Vásquez, et. al., 2016)

Dentro de las aguas lóaticas, una de las principales son los ríos, corrientes de agua continua que discurren por la cuenca hidrográfica formando un cauce y se caracteriza por recorrer grandes distancias. Presentan cabecera, canal de transporte y desembocadura (esta puede ser en una cuenca lacustre, marina, otro río o en una zona árida). El conjunto de todos los afluentes que recibe el río se denomina red hidrológica o sistema fluvial. (Lugo, 1989)

Al interactuar con el medio físico, la acción del movimiento de las aguas superficiales se conoce como dinámica fluvial. Estas dinámicas pueden clasificarse en tres tipos de acuerdo a los cambios que genere en el medio físico (Figura 07):

(a) **Erosión fluvial**, que consiste en el arranque o desgaste del medio que rodea al cauce del río por medio de las partículas del agua o de los sedimentos que se transportan en ella. Los factores que influyen en la potencia de la erosión son las propiedades del flujo (el régimen de caudales, velocidad, la resistencia, etc.) y la naturaleza del medio (rugosidad del canal, base litológica, etc.). (Pedraza, 1996)

(b) **Transporte de material**, que es el resultado de la interacción entre las propiedades del flujo de agua (debido a su caudal, velocidad, etc.) y las propiedades de los elementos que se encuentran actualmente en el cauce, siendo el caso que, de no presentar mayor resistencia serán arrastrados por las corrientes fluviales en su recorrido. (Pedraza, 1996)

(c) **Sedimentación**, que consiste en la acumulación de material residual debido a la progresiva pérdida capacidad del flujo de arrastrar los materiales en suspensión. Las disminuciones en la velocidad, el aumento de rugosidad, cambios de pendiente, permiten que los materiales que eran transportados por el agua, sean depositados en zonas fuera del cauce del río, donde progresivamente, irán modificando el relieve fluvial, cambiando la topografía y los elementos físico-químicos del área. (Pedraza, 1996)

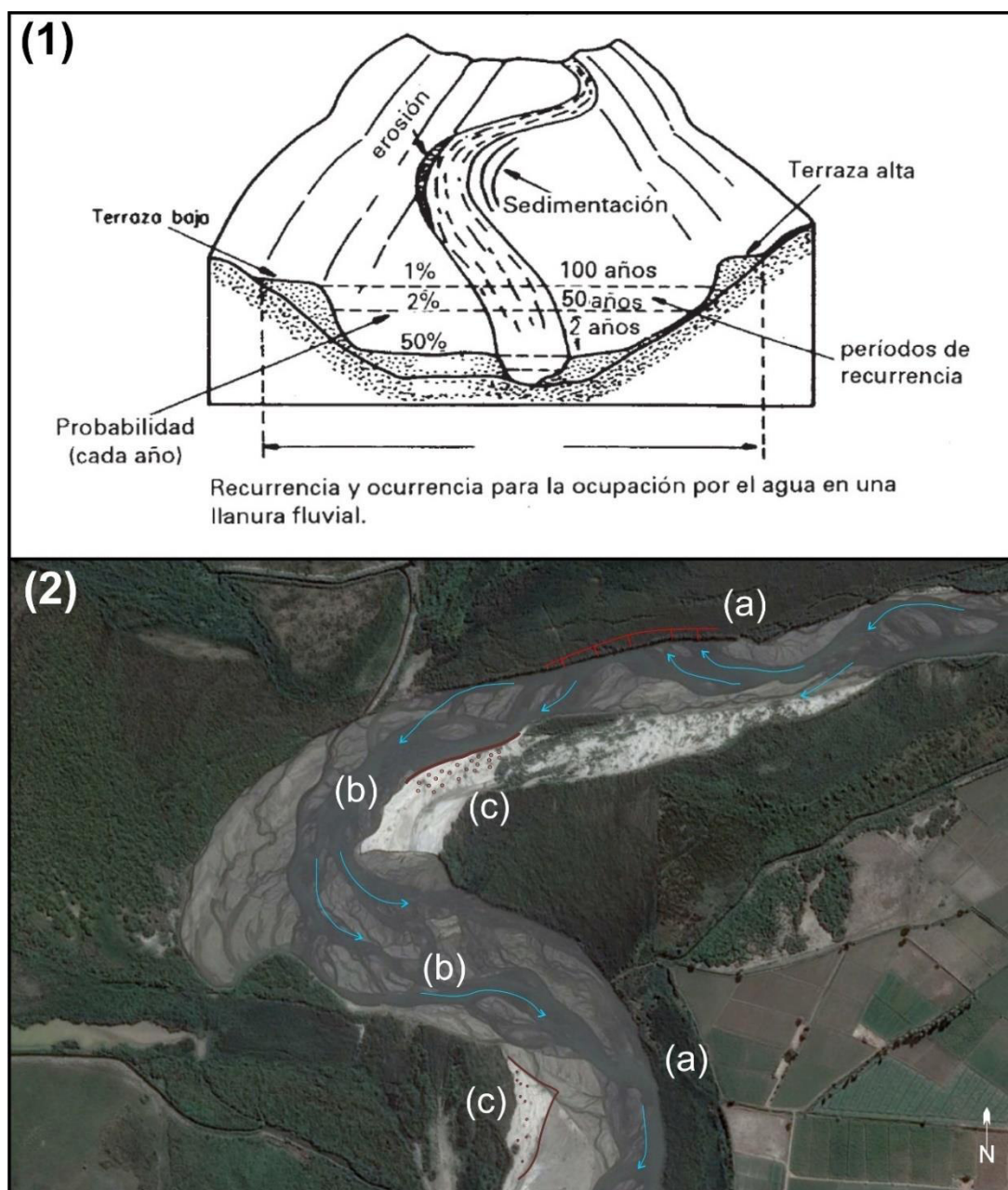


Figura 07. Esquema de los procesos de erosión y sedimentación en una corriente fluvial. En la imagen superior (1), se observan los procesos de erosión y sedimentación, indicando también una probabilidad de desborde del cauce.

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente - España, 2004).

En la imagen inferior(2), se observa los procesos de erosión, transporte y sedimentación de materiales en el cauce del río Tambo: (a) Proceso de erosión en el cauce del río, generando una escarpa en la terraza fluvial (b) Luego, el río transporta el material erosionado siguiendo la dirección del caudal (c) Finalmente, parte del material se acumula en la margen opuesta, donde se observa parte de los sedimentos arrastrados de color blanco a gris

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la cantidad de agua disponible (caudal) que transporta el río, se pueden describir tres tipos de eventos hidrológicos que tienen acción directa con el medio físico que los rodea:

a) Inundaciones o crecidas extremas:

Se conoce como inundación al proceso por el cual el caudal del agua sobrepasa su cauce natural y se desborda hacia los lados, sobre las terrazas fluviales. Este proceso está en función a muchas variables hidrometeorológicas, físicas y antrópicas, siendo las más comunes el exceso de agua de precipitación que discurre rápidamente al cauce, interrupción del cauce natural del río (presas naturales o artificiales, diques, etc.), entre otros. Las consecuencias de las inundaciones pueden ser catastróficas para las actividades económicas que dependen de las terrazas, llanuras y formas de relieve cercanas al cauce. También pueden afectar seriamente al ciclo biológico de la biodiversidad, destruyendo hábitats enteros o cambiando la configuración espacial de éstos. (Vásquez, et. al., 2016)

b) Caudal natural o caudal promedio

Se conoce como caudal natural a los valores promedios anuales de volumen de agua luego de las etapas de lluvias y antes de la temporada de estiaje. (Vásquez, et. al., 2016)

c) Sequía o ausencia de aguas:

Ocurren cuando el caudal del río tiene valores muy por debajo del promedio natural del volumen de agua anual. La sequía trae consigo una afectación directa a las actividades agrícolas, a la biodiversidad de la cuenca, y produce cambios físicos en el cauce del río, por ejemplo, el abandono de cauces cercanos al cauce del río principal o la aparición de grandes zonas de material sedimentario en las terrazas contiguas al cauce principal. (Vásquez, et. al., 2016)

Cuando las aguas superficiales tienen como desembocadura el océano, se producen relieves particulares por la interacción de las mareas del océano con el agua superficial que proviene del continente. (Figura 08) Estos relieves pueden ser:

- (a) **Estuarios**, son relieves formados por la acción conjunta del caudal del río y las mareas en el litoral. Se produce cuando un río de grandes dimensiones ingresa al océano y las corrientes de éste transportan los sedimentos hacia otras zonas rápidamente, no permitiendo su acumulación. Además, el ingreso del agua del océano al cauce fluvial por efecto de las mareas provoca una turbulencia entre corrientes, lo que produce el ahondamiento del cauce en el sector de la confluencia. (Pedraza, 1996)
- (b) **Deltas**, son relieves acumulativos que se forman por la acción fluvial en su desembocadura al mar. Al desembocar en el mar, se forma un cono submarino de sedimentos, los cuales terminan colmatándose y obstruyen el cauce natural, obligando al río a formar otros brazos para discurrir. Esta formación lenta de acumulación de sedimentos solo es posible en ríos de largo recorrido y que llevan a su vez una gran cantidad de material particulado, además es fundamental que en el litoral no existan corrientes poderosas que trasladen los sedimentos. (Lugo, 1989)

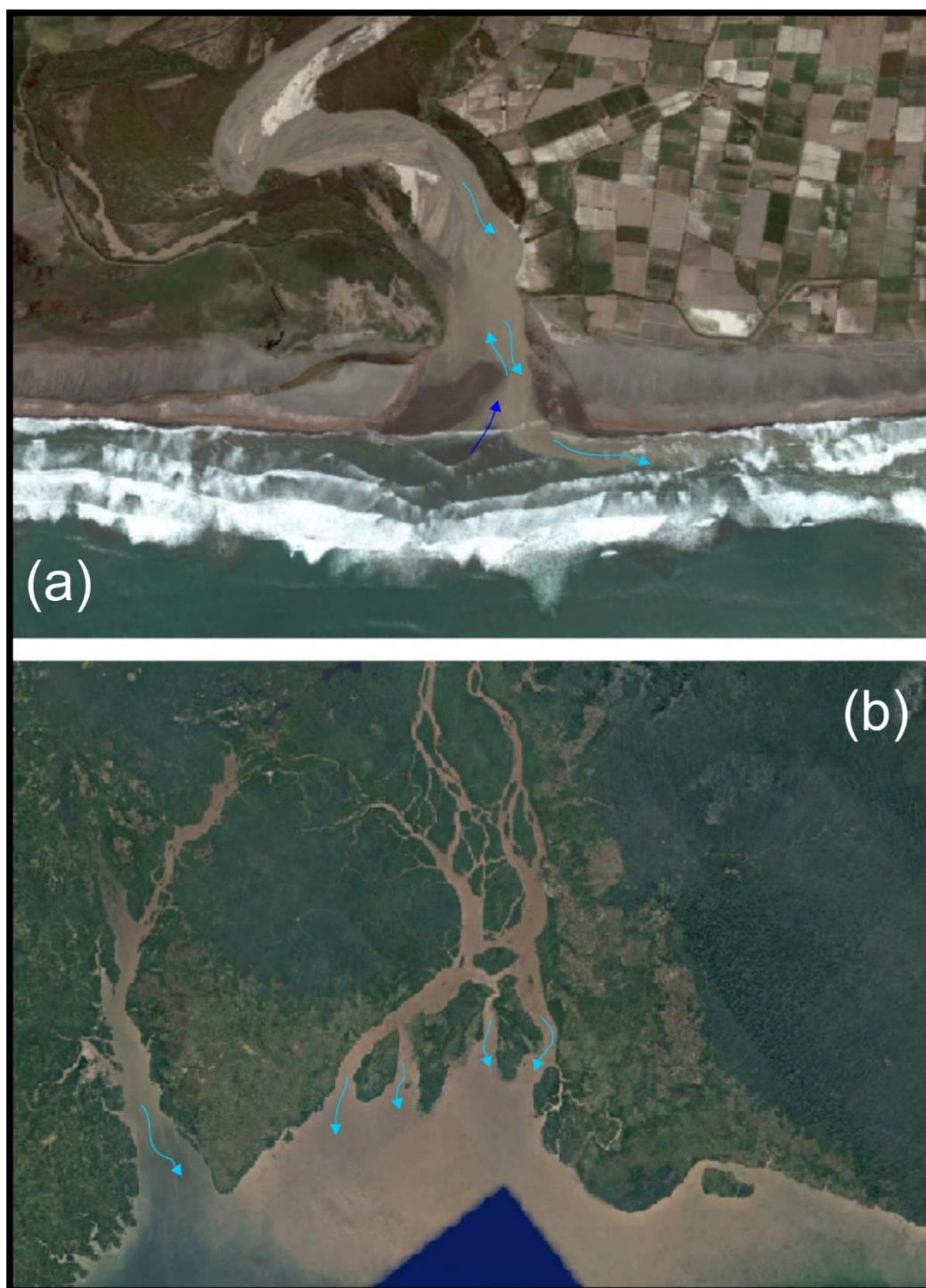


Figura 08. Formas de relieve formadas en la desembocadura de las aguas superficiales. En la imagen superior (a), estuario del río Tambo, Perú. Se observa la salida de agua superficial hacia el océano (flecha celeste) y el ingreso de agua oceánica (flecha azul) donde en medio de ellos se genera turbulencia y ahondamiento de cauce. En la imagen inferior (b), delta del río Amazonas, Brasil. Se muestra la formación de la acumulación de sedimentos y los distintos “brazos” que se forman con la salida de agua superficial al océano.

2.4 Peligros ambientales

La conceptualización inicial de los desastres consistía en verlos como casos aislados, y que afectaban en gran parte a los países en vías de desarrollo donde las pérdidas sociales y económicas eran cuantiosas y la reconstrucción de la sociedad demandaba gran cantidad de tiempo. Sin embargo, actualmente los fenómenos naturales se han incrementado tanto en intensidad como en frecuencia y causan “desastres” que afectan incluso a las sociedades más desarrolladas. (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR), 2015a)

Casos como el huracán Katrina (2005) en los Estados Unidos, los terremotos de Chile (2010), la ola de calor que azoto a Rusia (2010), el terremoto de Japón (2011), entre otros, pusieron en evidencia que los sistemas de prevención de riesgos de desastres no contemplaron eventos extremos, y se pusieron en marcha nuevas estrategias con el fin de gestionar ya no solo el desastre, sino el riesgo, y desarrollar soluciones que contribuyan al desarrollo resiliente y sostenible. (UNISDR, 2015b)

Es importante definir que el término “peligro” es la probabilidad a que un evento determinado se desarrolle, donde la probabilidad más alta para un elemento está condicionada directamente a la intensidad del factor desencadenante y a la susceptibilidad de ser afectado. Es decir, el peligro más alto se encuentra en la zona con mayor susceptibilidad donde también se concentra el evento desencadenante. Estos factores desencadenantes pueden ser naturales como antrópicos, los cuales alteran las condiciones normales del medio donde se desarrolla. (INGEMMET), 2010)

2.4.1 Definición de Peligros ambientales

Los peligros ambientales representan la probabilidad del espacio geográfico a ser afectado por un fenómeno físico o antrópico. Estos peligros se clasifican según su tipo (referencia al fenómeno desencadenante), y según su probabilidad (escenario de peligro muy alto, alto, medio, bajo). (CENEPRED, 2014)

2.4.2 Caracterización de los Peligros ambientales

El término “ambiental” se define como “el resultado de la interacción del hombre con su medio físico, donde se desarrollan sus actividades sociales, económicas, culturales, etc.” (Ritter, 1859). Bajo este concepto, los diferentes tipos de peligros que pueden afectar a una población o ciudad están caracterizados por su dinámica de origen, siendo esta la que define sus magnitudes y sus consecuencias en el medio (Baretino, Diéz, & Llorente, 2009):

-Por dinámicas geológicas: Los peligros que se agrupan en esta categoría están directamente relacionados con la dinámica interna y externa de la corteza terrestre. Son eventos que se presentan tanto en escalas locales como regionales y algunos son exclusivos de ciertos continentes. Los peligros de escala local se pueden prevenir, pero requieren estudios detallados del área mientras que los de escala regional solo dan pequeños indicios de su evolución hasta que finalmente se presentan en gran magnitud y conlleva, en muchos casos, acciones de emergencia de gran magnitud. Como ejemplos tenemos a los de gran escala como Terremotos, Erupciones volcánicas, Avalanchas de rocas, y los de escala local como Deslizamientos, Caídas de rocas, Flujos de detritos, Arenamientos, etc. (Proyecto Multinacional Andino, 2007)

-Por dinámicas fluviales: Los peligros por dinámicas fluviales son todos aquellos que están en relación directa con el cauce fluvial y el medio físico a su alrededor. Esta categoría incluye a las dinámicas físicas de las aguas superficiales como la erosión y sedimentación, así como también a los eventos relacionados con el caudal como son las inundaciones y las sequías. (Proyecto Multinacional Andino, 2007)

-Por dinámicas marinas: Los fenómenos por dinámicas marinas son todos aquellos que están en relación directa con el océano y sus elementos, los cuales, en conjunto con otros eventos atmosféricos o geológicos, pueden afectar a las localidades que se encuentran cercanas a las costas. Su gran poder destructivo es lo que ha llevado a los gobiernos a fortalecer las capacidades de preparación y respuesta. Ejemplos de ellos son Tsunamis, Tifones, Tempestades, entre otros. (Proyecto Multinacional Andino, 2007)

-Por dinámicas antrópicas: Aquí se engloban todos aquellos eventos que son resultado de la acción del hombre y que pueden provocar daños y perjuicios a un pueblo o a una ciudad, y que pueden ser producto de un error humano o consecuencia de un fenómeno físico. Ejemplo de ello pueden ser la construcción de represas cuya ruptura provocaría inundaciones en el valle, los incendios forestales, la etc. (Proyecto Multinacional Andino, 2007)

CAPÍTULO 3

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Contexto histórico internacional

Una de las principales preocupaciones del ser humano ha sido como actuar frente a los fenómenos naturales que, por su magnitud e intensidad, no puede tomar acciones preventivas para disminuir el Riesgo de Desastre (UNISDR, 2010)

Uno de estos fenómenos naturales son las inundaciones fluviales, los cuales son fenómenos hidro-geológicos que más repercusiones socioeconómicas ocasiona en las ciudades del mundo, según los datos del informe “El futuro de la gestión de riesgos de desastres” (UNISDR, 2015).

Hacia finales del siglo XX, en la década de los ochenta, algunos de los principales gobiernos de Europa iniciaron la producción de informes científicos con el fin de identificar las zonas de mayor peligro por inundaciones fluviales en mapas topográficos y urbanos. (Baretino, et. al., 2009). (Figura 09)

El gobierno de España, en el año 1986, realizó los “Estudios Previsorios de Riesgos de Zonas Inundables” para los centros urbanos de Almería, Andújar, Badajoz, Barbate, Campo de Gibraltar, Córdoba, Écija, El Ejido, Granada, Guadix, Loja, Lucena, Málaga, Mérida, Puente Genil, Utrera y Murcia, los cuales tenían como objetivo “desarrollar una metodología aplicable, sin excesivo derroche de medios, al reconocimiento de los riesgos de inundación en núcleos urbanos de tamaño medio”, identificando la zona máxima de una posible inundación en función de criterios topográficos y geomorfológicos. (Díez Herrero, Lain Huerta, & Llorente Isidro, 2006) (Figura 10)



PERIODO	CONSIDERACIÓN SOCIAL Y ADMINISTRATIVA DE LAS INUNDACIONES	PRODUCTO CARTOGRÁFICO
EDAD MODERNA HASTA FINALES DEL s. XX	<p>FENÓMENO EXTREMO (Inundaciones)</p> <p></p> <p>COMO ALGO INEVITABLE ("EXCEPCIONAL", "EXTRAORDINARIO")</p> <p>El mapa era un documento informativo que ilustra sobre áreas afectadas</p>	<p>CARTOGRAFÍAS INDIRECTAS que se refieren a espacios con afección frecuente de inundaciones (p.e. mapas para proyectos de encauzamiento)</p> <p>MAPAS DE ZONAS AFECTADAS ("Cartografías de calamidad"). Se acompañan de ilustraciones y fotografías.</p>
FINALES DEL s. XX y Comienzos del s. XXI	<p>FENÓMENO EXTREMO (Inundaciones)</p> <p></p> <p>COMO ALGO PREVISIBLE</p> <p>El mapa es un documento operativo para la planificación territorial</p>	<p>MAPAS DE RIESGO DE INUNDACIÓN. Establecimiento de niveles de riesgo.</p>

Figura 09. Cuadro evolutivo de la concepción de la cartografía de inundación fluvial en España. Fuente: (Olcina, 2012)

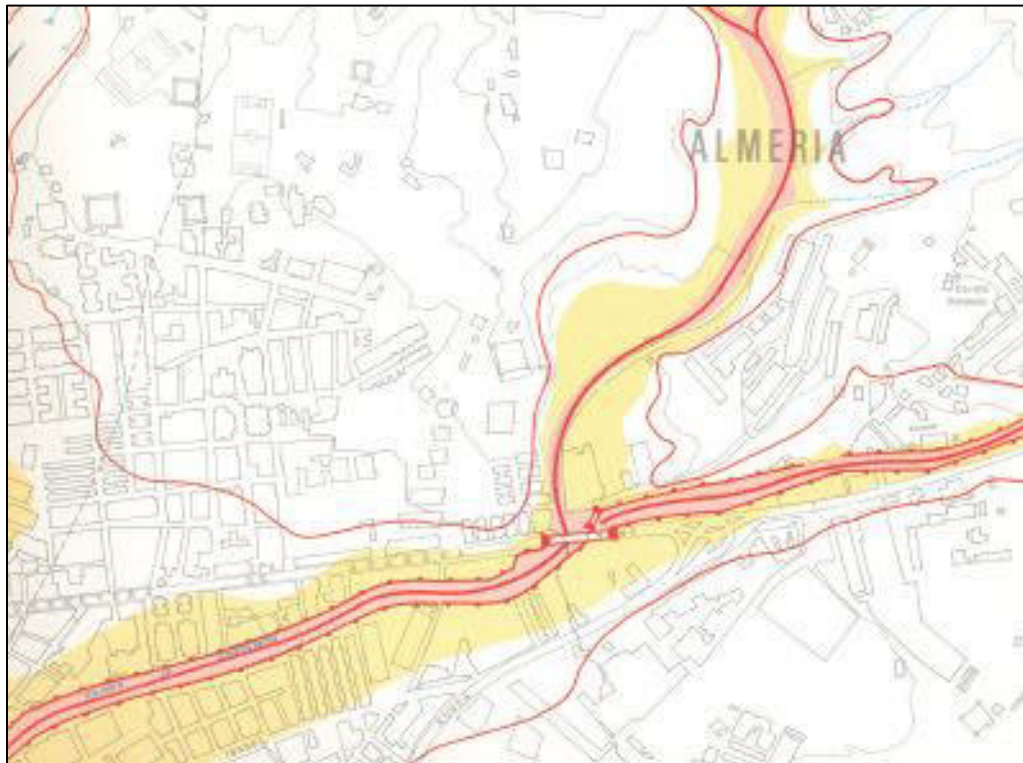


Figura 10. Corte del plano de probabilidad de inundaciones a escala 1:5000 del mapa previsor de Almería, donde se pueden identificar los criterios geomorfológicos (cauce del río) y topográficos (curvas de nivel) utilizados en su elaboración. Fuente: (Díez Herrero, et. al., 2006)

Los avances tecnológicos en la década final del siglo XX permitieron la evolución de los mapas clásicos de zonas probables de inundación, hacia mapas que reflejan una simulación del desarrollo de un evento de inundación en función de un tiempo determinados. Estos modelos fueron desarrollados con base en las características hidráulicas de flujos de agua y sus parámetros reológicos desarrollados en laboratorio para la simulación de flujos hiperconcentrados (Mudflood) o flujos de agua (Water flood). (O'Brien & Pierre, 1988). Estos mapas tenían la característica de presentarse como secuencias cronológicas de un evento de inundación y de una escala local, debido a las limitaciones tecnológicas para el cálculo de los algoritmos del modelo. (O'Brien, Pierre, & Fullerton, 1993) (Figura 11)

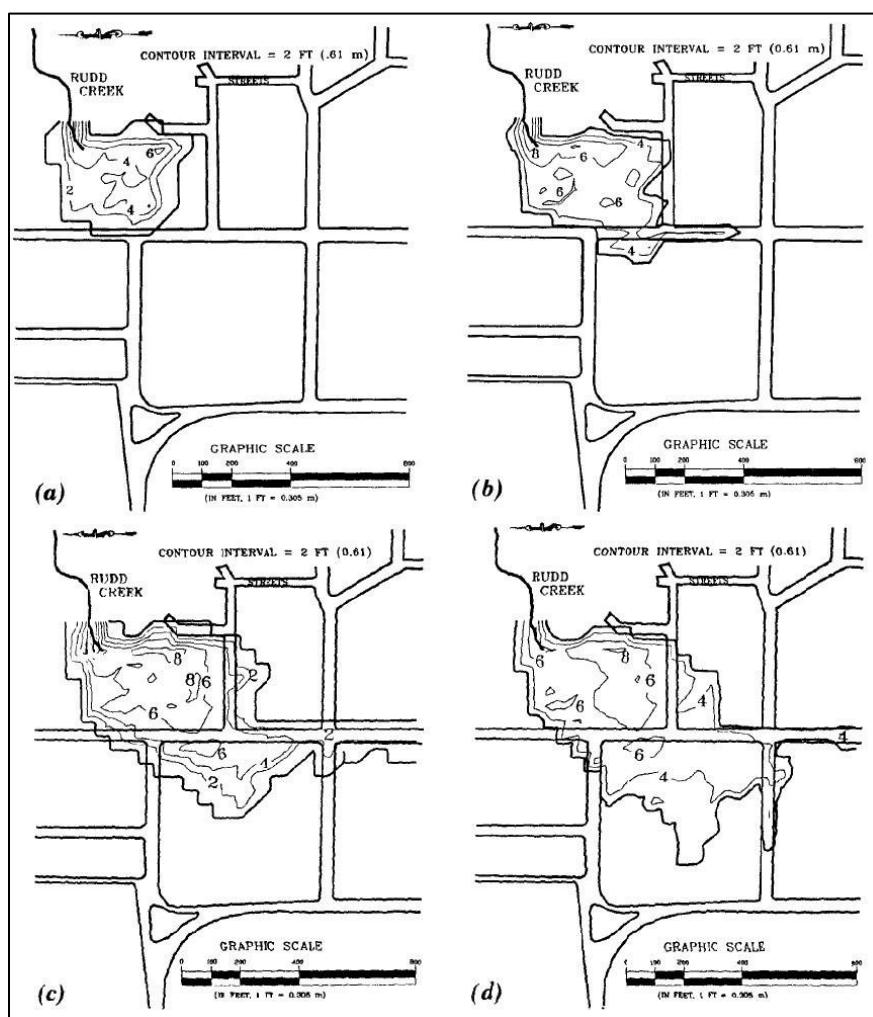


Figura 11. Cronología de un flujo de lodo (Mudflood) en la localidad de Rudds Creek, Virginia, EE. UU. En la imagen (a), profundidad del flujo después de 01 minuto; en la imagen (b), profundidad del flujo después de 02 minutos; en la imagen (c), profundidad del flujo después de 03 minutos; En la imagen (d), profundidad del flujo después de 05 minutos. Fuente: Tomado de (O'Brien, et. al., 1993)

En el año 1994, ante el aumento considerable de los desastres ocurridos luego de fenómenos naturales, la comunidad internacional de naciones se planteaba una serie de acciones y directrices para la prevención y respuesta. Estas acciones se plasmaron en el desarrollo de la “Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres Naturales, Yokohama, Japón”, la cual tenía como objetivo: “analizar medidas destinadas a reducir las consecuencias de los desastres en el mundo actual y los medios apropiados para crear la voluntad de trabajar con empeño y a largo plazo para la reducción de los desastres.” (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD), 1994).

Esta serie de medidas debatidas por 189 países enmarcaba los deberes y derechos de la Comunidad Internacional ante casos de desastres ocurridos por fenómenos naturales, incluyendo también a los actores externos como ONG's y Agencias internacionales de Cooperación en el apoyo de estas actividades. Siendo esta la primera muestra de reconocimiento del impacto de los desastres por fenómenos naturales en las naciones, se considera un evento clave para el desarrollo de las metodologías en gestión de riesgos y desastres a nivel internacional.

A inicios del siglo XXI, en América Latina se firmaron una serie de convenios internacionales para la prevención y respuesta ante los fenómenos naturales como inundaciones, deslizamientos, sismos, etc. Una de las principales agencias en el desarrollo de los convenios fue la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), la cual priorizó naciones con estrategias generales para la prevención de desastres. Uno de esos casos fue la el país de Honduras, el cual recibió el apoyo técnico de la Agencia de Cooperación y realizaron el estudio “Estudio sobre el control de inundaciones y prevención de deslizamientos de tierra en el área metropolitana de Tegucigalpa de la Republica de Honduras”; donde se desarrollaron una serie de instrumentos metodológicos y

cartográficos (Figura 12), donde las organizaciones locales tenían una importancia fundamental en la implementación de una cultura de prevención y riesgo. (JICA, 2002).

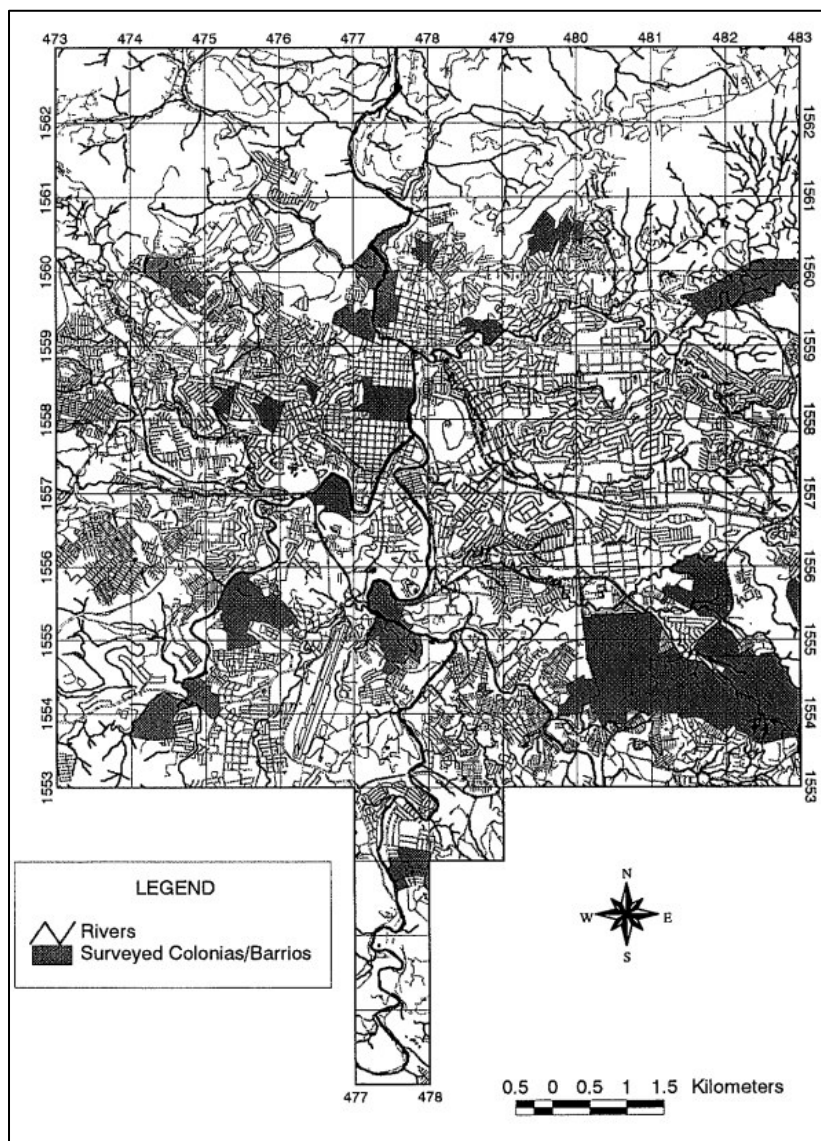


Figura 12. Instrumento cartográfico utilizado en el estudio de inundaciones en Tegucigalpa, Honduras: “Reconocimiento de daños por inundación en Colonias o Barrios”. Fuente: (JICA, 2002)

En el año 2005, la Comunidad Internacional, con 168 naciones participantes, organizó la segunda “Conferencia mundial sobre la Reducción de Desastres” en la localidad de Hyogo, Japón.

Esta reunión tuvo como objetivo reconocer los objetivos planteados con anterioridad y también los que no se cumplieron. Asimismo, el reconocimiento de identificar, evaluar y monitorear los riesgos de desastres como parte de las prioridades de acción fue uno de los ejes principales para la adopción de políticas orientadas a la reducción de riesgos de desastres. (Oberreuter, 2016).

La realización de estas conferencias dejó planteamientos y la priorización de mejoras en las políticas de prevención de desastres, así como también, el impulso a la actualización de los estudios regionales en los países desarrollados. Algunos ejemplos son los recopilatorios de estudios sobre deslizamientos, inundaciones y otros fenómenos naturales en los EE.UU. para la identificación de zonas de acción prioritaria. (Saharia et. al., 2016) (Figura 13)

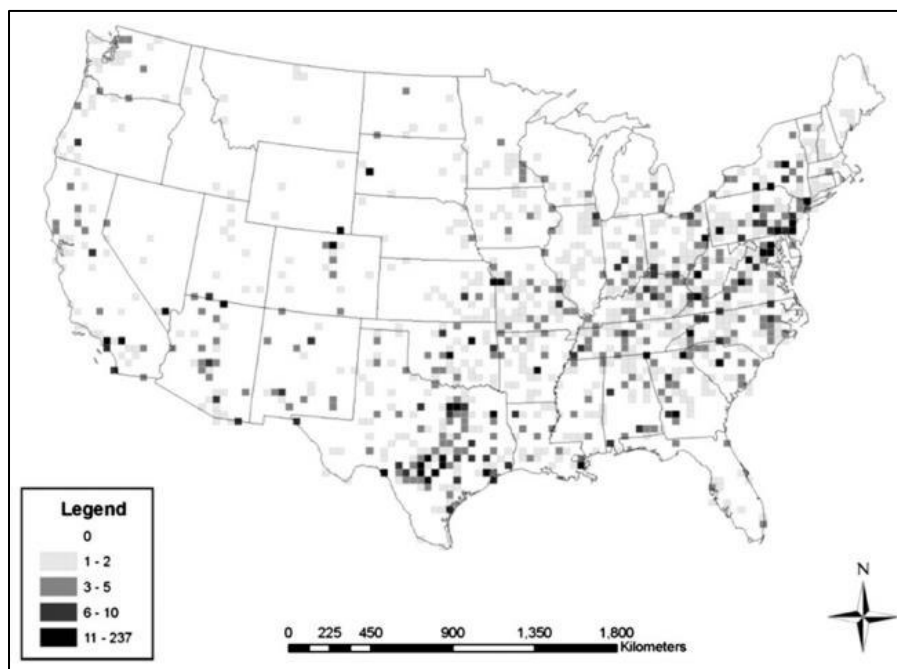


Figura 13. Mapa de “Flash flood” o Inundaciones locales desde 1959 hasta 2005.

Fuente: (Saharia et. al., 2016)

Esta línea de acción de recopilación y generación de cartografía de inundación y otros fenómenos naturales también se replicó en Europa, donde se destaca la variabilidad temática y la temporalidad de los informes. (Figura 14).

País	Tipo de Mapa de Inundaciones						
	Inundaciones históricas	Extensión de la inundación	Calado (profundidad del agua)	Daños por inundaciones	Exposición	Riesgo cualitativo	Riesgo cuantitativo
Alemania		x	x	x			x
Austria		x		x			
Bélgica		x	x	x			x
Croacia		x			x		x
Dinamarca		x					
Eslovaquia		x			x		
Eslovenia		x					
España	x	x			x	x	
Estonia	x						
Finlandia	x		x				
Francia	x	x			x	x	
Grecia	x						
Holanda			x				
Hungría		x					
Inglaterra		x		x	x		
Irlanda	x	x					
Italia		x			x	x	
Letonia		x					
Lituania		x					
Luxemburgo		x	x	x			
Noruega		x					
Polonia		x	x				
Portugal		x					
República Checa	x	x					
Rumanía		x			x		
Suecia		x					
Suiza		x	x	x		x	

Figura 14. Cuadro que presenta los diferentes tipos de mapas de inundaciones fluviales existentes en Europa para el año 2009. Fuente: Modificado de (Baretino, et. al., 2009)

En América Latina los esfuerzos por la comprensión de la génesis de los fenómenos naturales, la estandarización de criterios para la generación de informes técnicos relacionados a estos eventos, y lograr la comprensión y reducción del Riesgo de Desastres en sus localidades, llevó a desarrollar un Proyecto Multinacional Andino donde la asociación de las entidades técnicas-científicas de los países que conformaban el Grupo de Estándares para Movimientos en Masa

(GEMMA) desarrollaron una publicación en el año 2007 que recopilaba todos los esfuerzos, técnicas y metodologías sobre el estudio de los Movimientos en Masa llamada “Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas” (Proyecto Multinacional Andino, 2007).

La importancia de esta publicación es el establecimiento de estándares cartográficos para la representación de movimientos en masa y la documentación de que estos eventos pueden desencadenar otros fenómenos naturales en otras localidades (Figura 15) y no tratarlos solo como eventos aislados, aportando fundamentos a la cooperación en la atención internacional de los desastres.



Figura 15. Imagen del Deslizamiento - Represamiento La Josefina(a), en la ciudad de Cuenca, Ecuador, el cual generó una inundación fluvial de hasta 2 km aguas arriba del deslizamiento(b), afectando terrenos de cultivo, una central termoeléctrica y una vía de acceso nacional como la Carretera Panamericana en 1993. Fuente: (Proyecto Multinacional Andino, 2007)

El último Marco de Acción sobre Reducción de Riesgo de Desastres propuesto en la Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas y que se desarrolló en Sendai, Japón en el año 2015 ratificó los acuerdos de Hyogo y agregó como líneas prioritarias de acción la comprensión real de las dimensiones del riesgo de desastre (exposición, vulnerabilidad y amenazas); fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres; el fortalecimiento de la cooperación

internacional y las alianzas de trabajo mundiales, y la inversión en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia, donde una de las estrategias de acción indica:

“Promover la incorporación de la evaluación, la representación cartográfica y la gestión del riesgo de desastres en la planificación y gestión del desarrollo rural de, entre otras cosas, las montañas, los ríos, las llanuras costeras inundables, las tierras áridas, los humedales y todas las demás zonas propensas a sequías e inundaciones, incluso determinando las zonas que son seguras para los asentamientos humanos y preservando al mismo tiempo las funciones de los ecosistemas que contribuyen a reducir los riesgos”. (UNISDR, 2015)

De aquí se resalta la importancia que tiene el trabajo en conjunto de pobladores, autoridades, gobierno y de ser el caso cooperación internacional; así como también el uso de los productos cartográficos sobre inundaciones en la planificación y gestión del territorio. Una muestra de ello se dio en Colombia, donde la Agencia de Cooperación Japonesa JICA en colaboración con los organismos gubernamentales colombianos desarrollaron el “Proyecto de fortalecimiento de la capacidad de Manejo de Riesgo de Inundaciones en la República de Colombia, y la perspectiva a futuro”. (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres de Colombia (UNGRD), 2017), donde ponen a discusión las distintas metodologías de trabajo para el Manejo de Inundaciones, la inclusión de la gestión económica del riesgo de desastre (antes y después) (Figura 16) y la innovación tecnológica en los instrumentos cartográficos de los riesgos por inundación.

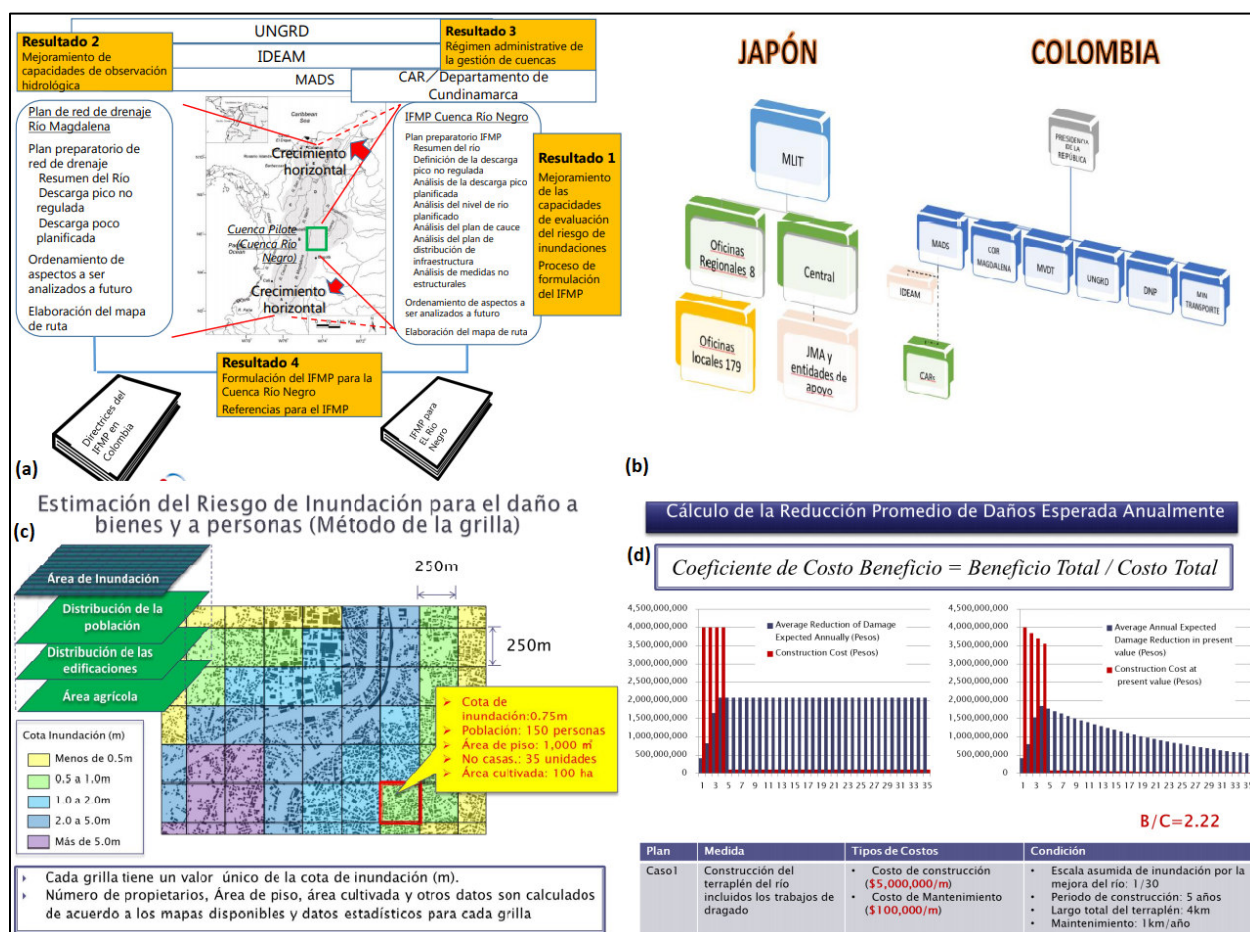


Figura 16. Esquema del proyecto de cooperación Colombia-Japón: (a) Planteamiento del proyecto, (b) Organismos internacionales involucrados, (c) Metodología de trabajo aplicada, (d) Análisis económico de los resultados de la gestión Riesgo de Desastres aplicado en el proyecto. Fuente: Modificado de (UNGRD, 2017)

3.2 Contexto histórico nacional

Los trabajos sobre peligros, riesgos y desastres son un tema que, a pesar de la gran diversidad y cantidad de fenómenos naturales que afectan a nuestro país, han sido poco tratados científicamente a lo largo de historia. Un ejemplo de una de las primeras formas de gestión de los riesgos de desastres en nuestro país se dio durante la época prehispánica, donde los pueblos endémicos de nuestro país se plantearon una serie de medidas en la planificación de las ciudades para poder afrontar las consecuencias de la ocurrencia de fenómenos naturales tales como huaycos, inundaciones, deslizamientos de tierra, erupciones volcánicas, sismos, etc. y lograr el máximo aprovechamiento de las condiciones geográficas de su territorio. Estas técnicas y métodos fueron aplicados en las ciudades incaicas y posteriormente recopiladas y descritas por los cronistas de manera muy superficial en su funcionamiento. (Klauer, 2000) (Figura 17)

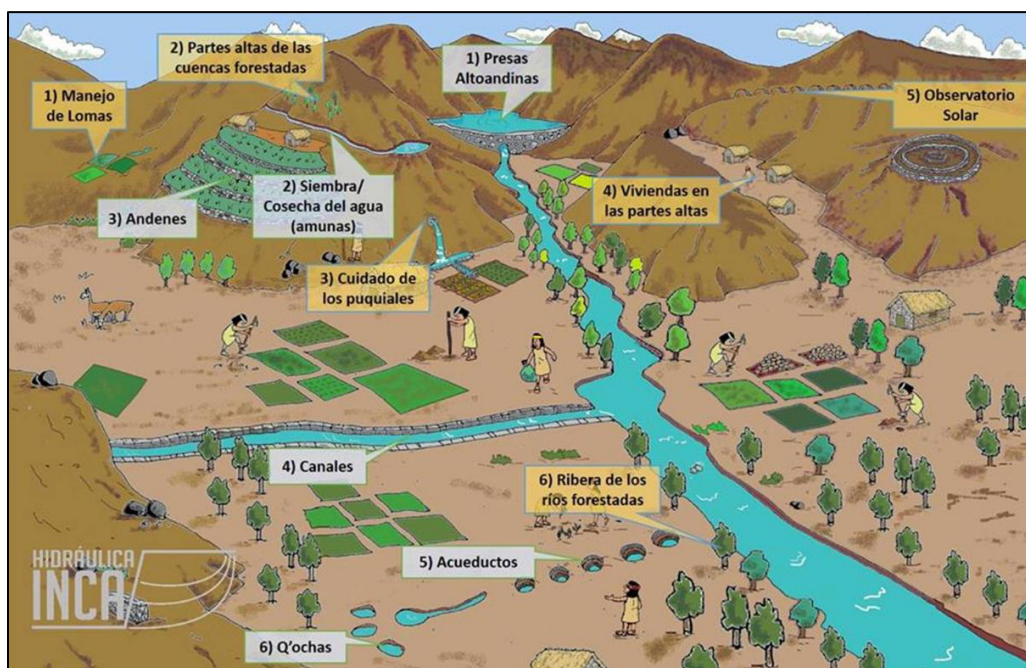


Figura 17. Ilustración de algunos de los métodos prehispánicos para la reducción de riesgos de desastres y la gestión de los recursos naturales. Fuente: Modificado de (Ancajima, 2017)

En el Siglo XIX, algunos de los eventos relacionados a las dinámicas fluviales fueron descritos a través de crónicas de científicos en su recorrido por los parajes de nuestro país. Uno de estos científicos fue Antonio Raimondi, quién en el año 1863 a 1880 recorrió varias regiones de nuestro país con el afán de describir y documentar la biodiversidad y la disparidad de los relieves peruanos. Estos comentarios fueron recopilados en su libro “El Perú, Itinerario de viajes”. (Raimondi, 1929). En su primera expedición visita la región de Arequipa, en el año 1863, donde recorre de sur a norte los principales valles fluviales, describiendo la diversidad de paisajes, los principales pueblos y sus actividades económicas. Uno de esos valles fue el río Tambo, donde Raimondi, (1929) logra describir como el comportamiento torrencioso del río Tambo en su camino a la desembocadura, afectaba las dinámicas fluviales del río Tambo a la población del valle:

“En febrero y marzo de este año (1863), el río que antes corría todo reunido en la parte media del valle, se desvió hacia los terrenos de Cocachacra y los inundó en su mayor parte, llevándose en su encuentro terrenos cultivados, casitas, animales, etc. A una legua más arriba de Cocachacra, se llevó la hacienda de Cachuyo; y más abajo, cerca del pueblo, destruyó casi una parte de la de Santo Domingo, [...]. Además, casi todos los vecinos de Cocachacra sufrieron algo perdiendo sus cultivos de Arroz, Maíz, Ají, etc. Muchos, en algunos días quedaron completamente arruinados, de manera que abandonaron el lugar y se fueron a establecer en otras partes. En la actualidad un brazo del río bastante grande pasa cerca de la misma población y amenaza hacer nuevos daños en la próxima estación.” (págs. 97-101).

En el siglo XX, una de las primeras grandes campañas científicas que se desarrolló en el Perú fue la elaboración de la Carta Geológica Nacional 1:1 000 000, entre los años 1960 y 1999 a cargo del Servicio Geológico y Minero del Perú (actualmente se le conoce como INGEMMET). Este documento científico tenía como objetivo la descripción de las unidades litológicas, minerales, y morfoestructurales, así como también la morfodinámica de cada cuadrante y los peligros geológicos en el área de trabajo. Lo importante de estas publicaciones fue el reconocimiento científico que se les daba a las áreas de peligro, describiéndose brevemente los orígenes de los movimientos en masa y sus consecuencias en las localidades cercanas. (INGEMMET, 2018).

Luego del proyecto de la carta nacional, el Servicio de Geología y Minería (luego conocido como INGEMMET) desarrolló estudios especializados en regiones que requerían acciones de urgencia debido a los desastres que ocurrieron durante ese año, siendo uno de ellos el “Mapa de Inundación en el curso inferior del río Piura” en el año 1972, donde se describían las zonas inundadas, la dinámica del flujo, así como también las características geológicas de las zonas afectadas. (Palacios, 1972) (Figura 18). En el mismo año, se realizó el “Estudio Geodinámico de la Cuenca del río Camaná – Majes (Colca)” (INGEMMET, 1972) donde se cartografiaba la geodinámica de movimientos en masa y los eventos de inundación ocurridos en dichos valles. (Figura 19)

Estos mapas de inundación e informes preliminares pueden ser considerados algunas de las primeras muestras científicas de cartografía de riesgos por dinámicas fluviales, y es importante resaltar que se realizaban post evento, es decir, cumplían la labor de inventariar las zonas afectadas por las inundaciones.

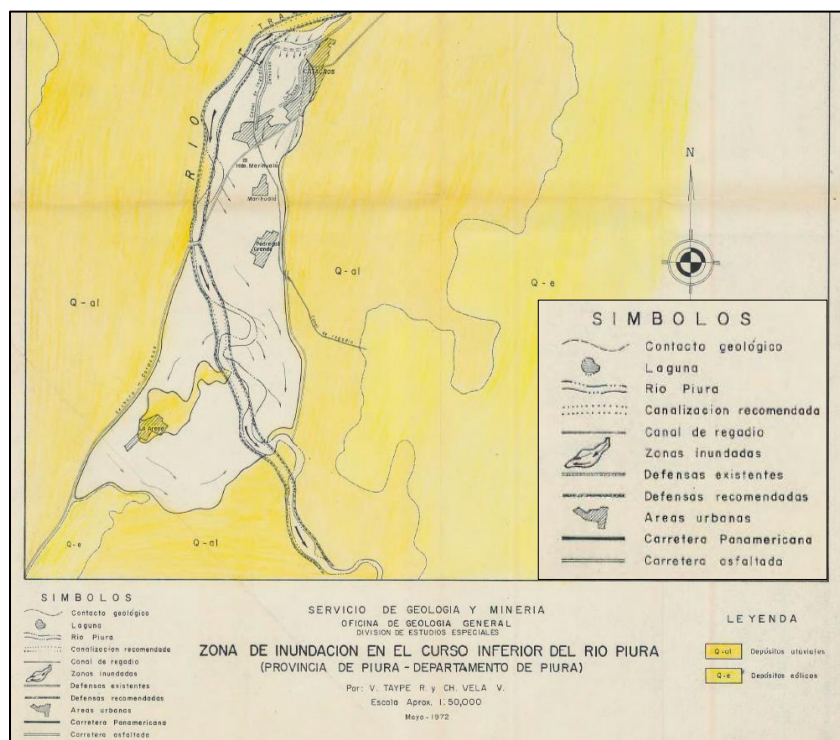


Figura 18. Mapa de Inundación del curso inferior del río Piura. Fuente: Modificado de (Palacios, 1972)

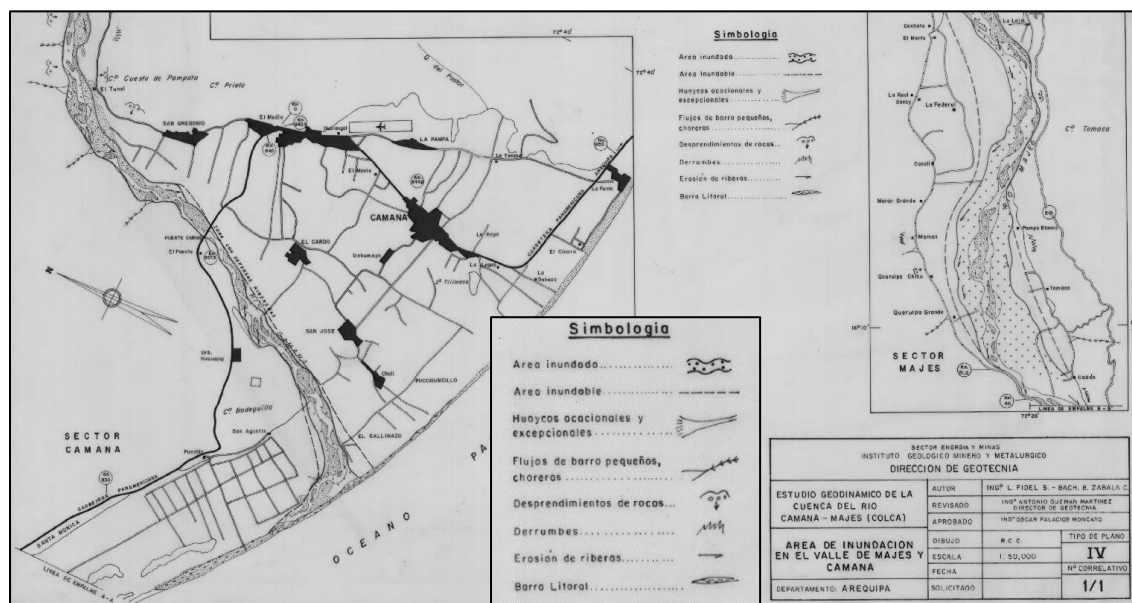


Figura 19. Mapa Geodinámico del curso inferior del río Camaná, donde se detalla el área de inundación en el valle del mismo nombre. Fuente: Modificado de (INGEMMET, 1972)

En la década del 60 y hasta inicios de la década del 90, la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) realizó estudios regionales y de cuencas hidrográficas a lo largo de todo el territorio nacional. Estos estudios tienen como característica ser integrales en su contenido, evaluando todos los componentes ambientales, así como también las actividades económicas y en algunos casos, la descripción de las limitaciones y fenómenos naturales a los que están expuestos (Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), 2018). La importancia de estos estudios fue la generación de información de primera mano sobre todos los aspectos ambientales y su comprobación científica análisis de laboratorio y técnicas de evaluación de recursos naturales. Sin embargo, al tener carácter regional, las escalas de trabajo y las variables generadas necesitan ser verificada en campo para poder ser validada como referente en estudios detallados o de microzonificación. (Ministerio de Medio Ambiente - España, 2004)

A inicios del Siglo XXI, se crea en nuestro país el “Programa de Encauzamiento de Ríos y Protección de Estructuras de Captación - PERPEC”, con una inversión de 126 millones de dólares en el periodo comprendido entre 1999 – 2009, cuyo objetivo era proteger las zonas inundables de los riegos de inundaciones, priorizando las cuencas afectadas por el fenómeno El Niño del año 1998. No obstante, los procesos de transferencia de poderes del gobierno central a los gobiernos regionales en el marco de la descentralización del país, cambió la perspectiva de trabajo regional y lo limitó a programas de prevención por cada cuenca a evaluar donde la disposición de recursos adquirió un camino más largo y tedioso para su ejecución.

La importancia de los trabajos aplicados y con nuevas metodologías han sido un aporte fundamental en la evolución de la cartografía de riesgos. En el periodo comprendido de 1970 hasta el año 2005, la mayor parte de información sobre eventos de inundaciones registrados se

encontraba graficada en reportes de daños, informes de gestión administrativa, cuadros estadísticos, planes de acción y mapas temáticos basados en límites político administrativos. Sin embargo, la cartografía detallada de cada uno de los eventos era muy escasa, y las entidades científicas no tenían como competencia la generación de estos instrumentos. (Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2017) (Figura 20)

Como resultado de los compromisos adoptados en el Marco de Acción de Hyogo, las líneas de acción prioritarios para la Reducción del Riesgo de Desastre fueron adoptadas sistemáticamente en nuestra política nacional de Gestión de Riesgos. Una muestra de ello, fue la aplicación en la academia científica de nuevos métodos y metodologías tecnológicas en la generación de posibles escenarios de inundaciones y huaycos, que se aplicaban en EE.UU. y las principales ciudades de Europa desde finales del siglo anterior. El estudio “Simulaciones FLO 2D en las ciudades de Urubamba y Ollantaytambo, Cusco” en el año 2007, presenta estas innovaciones en la generación de mapas de peligros por aluviones, simulando flujos hiperconcentrados y zonificando el área de estudio en función de la profundidad del flujo simulado. Asimismo, hace la comparación con la cartografía convencional de peligrosidad realizada por el gobierno regional, donde se aprecia gran similitud entre los mapas generados, validando el modelo como instrumento para la generación de cartografía de peligros. (Valderrama, Cárdenas, & Carlotto, 2007) (Figura 21)

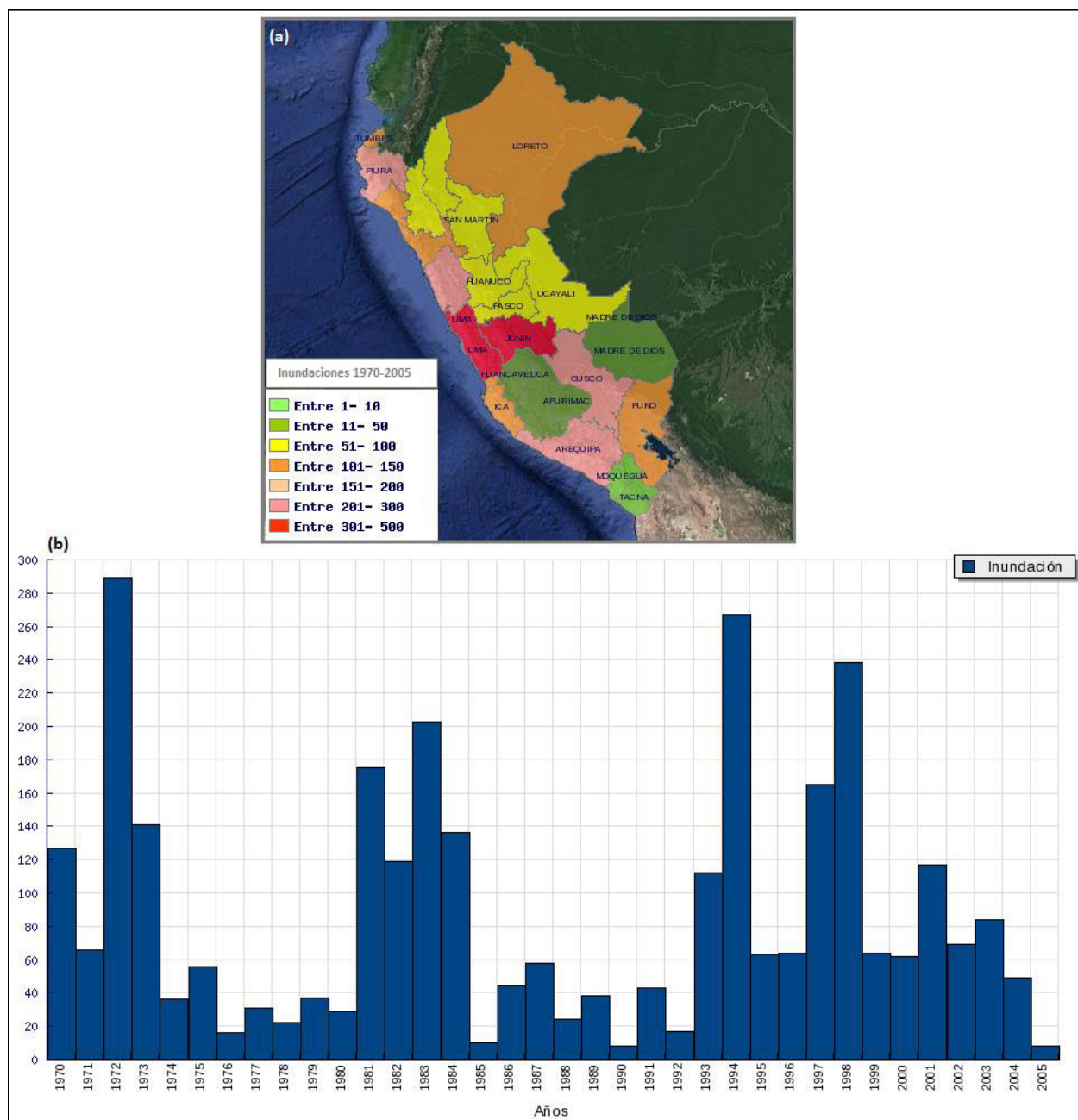


Figura 20. Registro de evento de inundaciones en el Perú en el periodo 1970-2005. Se tiene un total de 3087 registros, los cuales se han graficado en (a) un mapa político-administrativo, así como también en (b) una serie anual del periodo comprendido. Fuente: (Corporación OSSO, 2018)

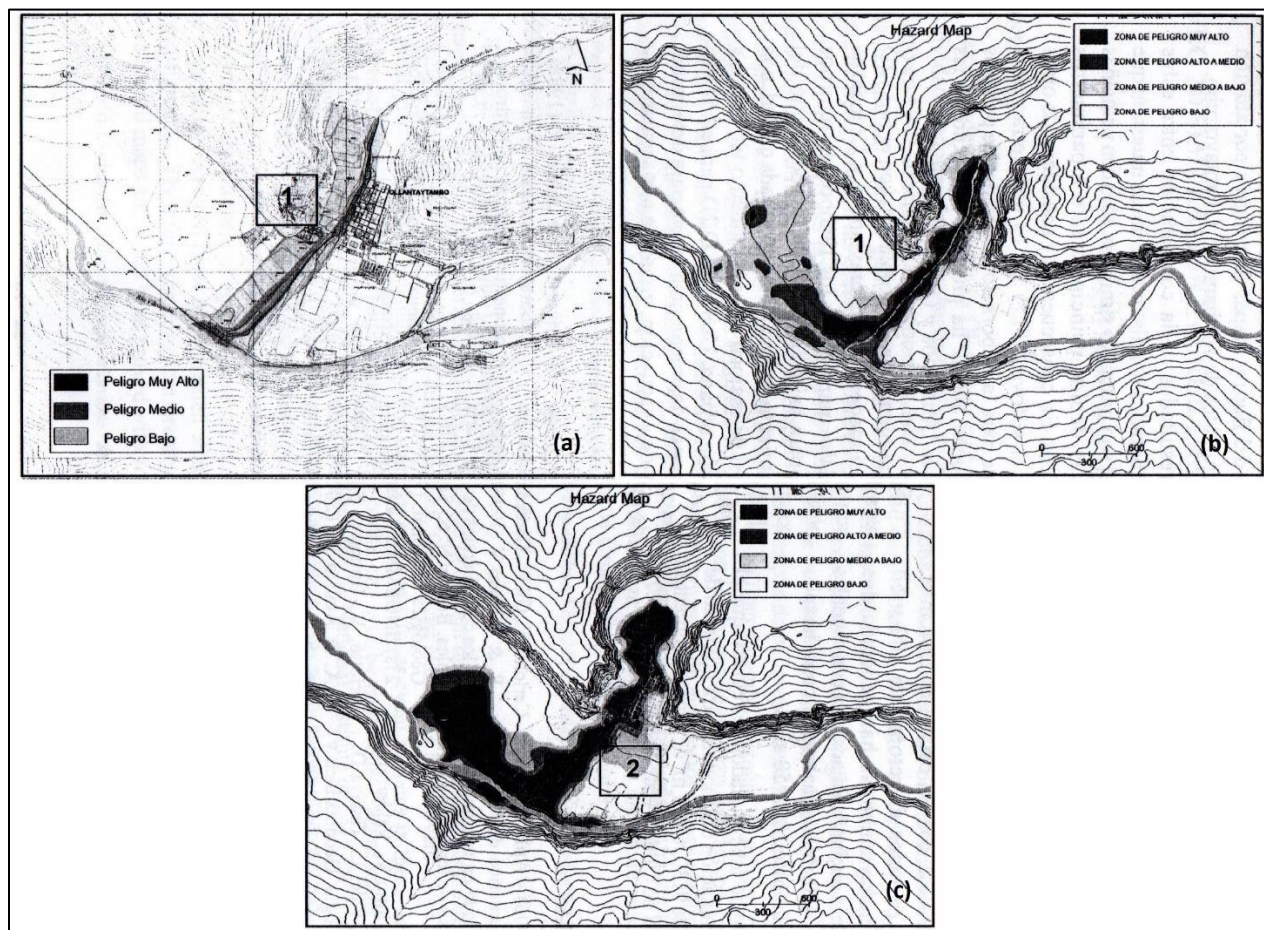


Figura 21. Comparación de cartografías de peligros por aluviones para la ciudad de Ollantaytambo, Cuzco. En la figura (a) se observa la cartografía convencional realizada por las autoridades regionales categorizada en niveles de peligro, la cual es muy similar a la cartografía generada por la simulación FLO-2D (b), en un tiempo de retorno de 50 años. Finalmente, la figura (c) muestra la cartografía generada por la simulación con un tiempo de retorno de 100 años. Fuente: Modificado de (Valderrama, et al. 2007)

En el año 2009, el INGEMMET culminó el proyecto “Inventario de Peligros Geológicos en el Perú”, y utilizó esta base de datos para la generación de un Mapa a nivel nacional donde se pueda plasmar los diferentes niveles de susceptibilidad a los Movimientos en Masa que condicionan el territorio peruano. Aplicando un modelo heurístico variado donde incluyeron variables ambientales como las pendientes del terreno, las altitudes del territorio, la geomorfología, la geología, la hidrogeología, cobertura vegetal, uso de suelos, y validando los niveles de susceptibilidad con los movimientos en masa identificados en el inventario de peligros geológicos. (Villacorta, Lionel, & Zavala, 2012)

La aplicación de un modelo multicriterio heurístico a nivel nacional por parte de esta institución científica fue un punto clave para el desarrollo cartográfico en materia de peligros, debido a que la información de variables utilizadas fue verificada y sustentada con un método científico válido. (Figura 22)

En el año 2011, el Ministerio del Ambiente (MINAM) publica el proyecto “Mapa de Vulnerabilidad Física del Perú”, donde realizan un análisis multicriterio de variables ambientales para determinar las zonas susceptibles a peligros múltiples, integrando también a los elementos expuestos como por ejemplo Centros Poblados, Carreteras y Áreas Naturales Protegidas, etc. en el cálculo (Figura 23) y conclusiones del proyecto. (MINAM, 2011)

A pesar de que el “Mapa de Susceptibilidad Física del Perú” y el “Mapa de Vulnerabilidad Física del Perú” tuvieron las mismas capas base de información, los resultados fueron totalmente distintos. Esto se explica en parte, porque los criterios metodológicos de ambos proyectos estaban en función de los objetivos institucionales de las instituciones científicas donde se desarrollaron,

y la difícil tarea de unir metodologías de trabajo entre instituciones para tratar un mismo problema como son las amenazas y las zonas vulnerables a ellas.

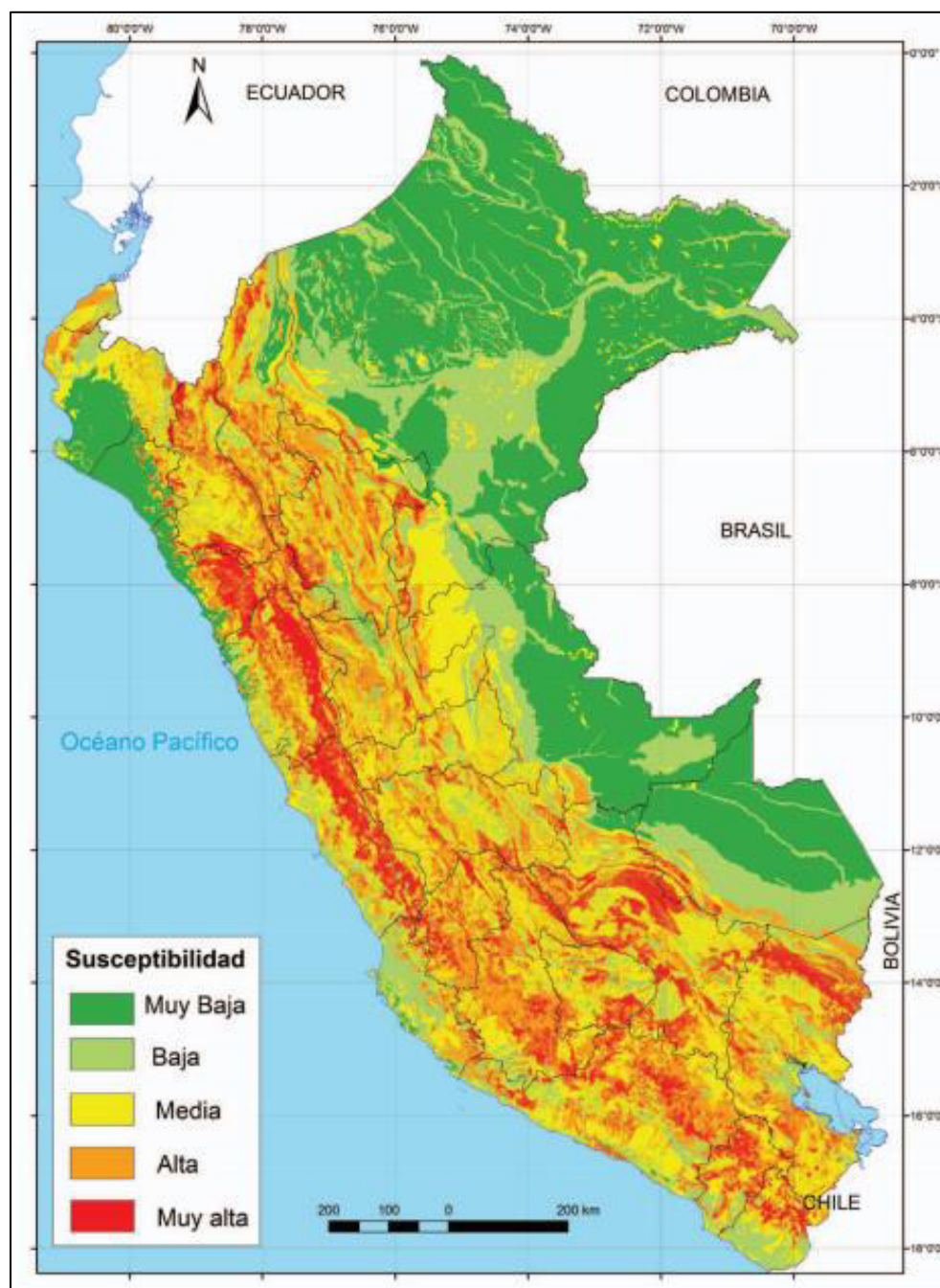
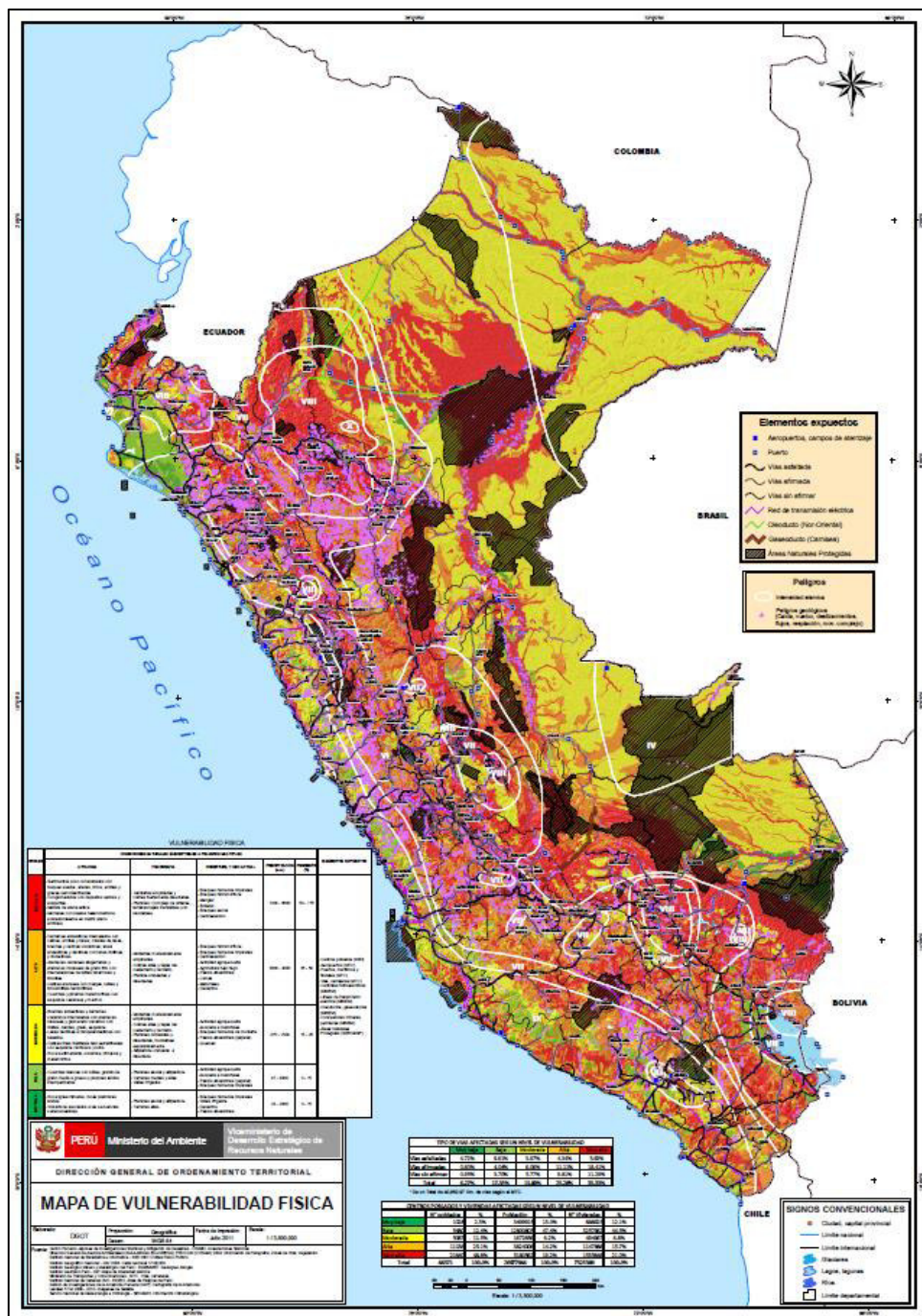


Figura 22. Mapa de susceptibilidad física del Perú. Fuente: (Villacorta, et. al., 2012)



En el año 2014, el CENEPRED elabora una guía metodológica llamada “Manual para la evaluación de riesgos originados por inundaciones fluviales”. Esta guía presenta una serie de esquemas metodológicos para lograr la obtención de las bases en la evaluación de riesgos: “La peligrosidad y la vulnerabilidad”.

Utilizando las variables ambientales básicas en la evaluación de peligros (pendientes, geología, suelos, cobertura vegetal, geomorfología, precipitación, etc.) son ponderadas y el resultado es analizado directamente con los elementos expuestos (como infraestructura física, servicios de salud, carreteras, etc.) para obtener un mapa final de peligrosidad.

Para la evaluación de la vulnerabilidad, el manual se centra a la capacidad de respuesta de la población ante los eventos de inundación, evaluando características como los niveles de educación, religión, capacidad de respuesta, infraestructura de las viviendas, etc. para obtener un mapa final de vulnerabilidad.

Finalmente, las capas de peligrosidad y vulnerabilidad son trasladadas a una matriz de doble entrada donde se analiza las relaciones matemáticas entre ellas para obtener finalmente los niveles de riesgo de una determinada área de trabajo. (CENEPRED, 2014)

Esta metodología tiene como enfoque el análisis de riesgo en función de la infraestructura física de una población determinada, pues el resultado final solo muestra los diferentes niveles de riesgo en la zonificación residencial, eliminando así las áreas sin población como las cercanas al cauce del río o las áreas cercanas a los ejes viales. (Figura 24)

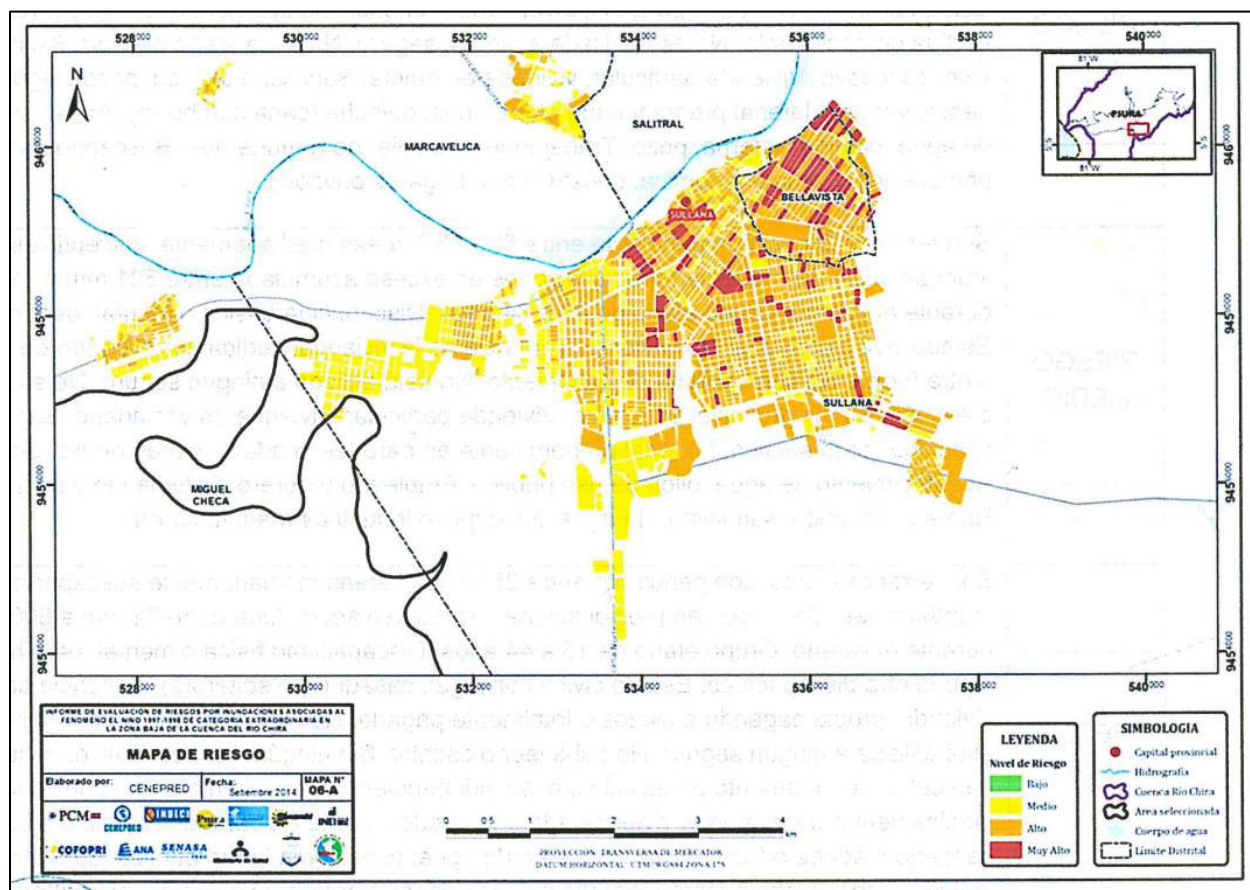


Figura 24. Zonificación de riesgos de la cuenca del Chira – Sector Sullana. Fuente: (CENEPRED, 2014)

En el año 2015, el MINAM publica el proyecto “Mapas de susceptibilidad física del Perú: Zonas propensas a inundaciones en la Costa y Sierra frente a la ocurrencia de Eventos Hidrometeorológicos extremos.”, tomando como base las áreas afectadas por el fenómeno El Niño de años anteriores. (MINAM, 2015) (Figura 25)

A diferencia de los mapas anteriores, este mapa muestra una variable independiente (ocurrencia de lluvias extremas por Fenómeno El Niño) utilizada como desencadenante ante el mapa de peligros para lograr las áreas susceptibles, trabajando sobre un escenario extremo y con mucha variabilidad metodológica. Sin embargo, se puede observar que existen zonas dentro de su

rango espacial comprendido que no tendrían ninguna afectación, difiriendo también de su publicación en el año 2011, y la de INGEMMET en el año 2010.

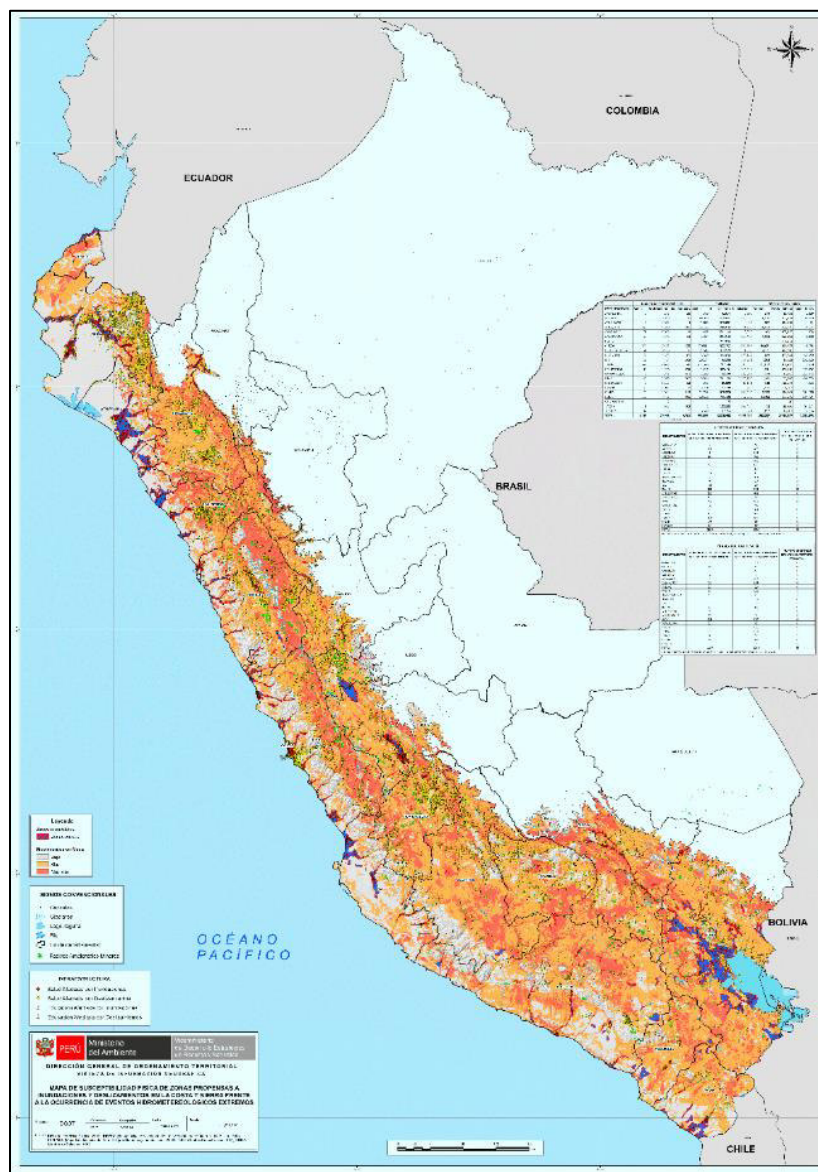


Figura 25. Mapa de susceptibilidad física del Perú: Zonas propensas a inundaciones en la Costa y Sierra frente a la ocurrencia de Eventos Hidrometeorológicos extremos.

Fuente: (MINAM, 2015)

En el aspecto Hidrológico, en el año 2009 se promulga la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29 338) la cual regula el uso y gestión de los recursos hídricos, comprendiendo las aguas superficiales, subterráneas y continentales y los bienes asociados a esta. (Art. 1, Ley 29338, 2009)

Dentro del alcance de esta ley, se establece el concepto de “Faja marginal”, como una franja de terreno necesario para la protección, uso primario, libre tránsito, pesca, y otros servicios, cuya extensión depende de las características físicas del terreno, con un mínimo de cuatro (04) metros y un máximo necesario variable para garantizar la protección de la fuente de agua. (ANA, 2010)

Dentro de la “Guía para la delimitación de la faja marginal, 2010”, se indica que existen criterios básicos para la elaboración de la faja marginal donde se tiene un Ancho fijo y un Ancho variable, optando como propuesta un criterio intermedio entre ellos, que incluya subcriterios como las variables hidrológicas, sociales, legales y ambientales, respetando en todos los casos lo dispuesto en la Ley 29338. (ANA, 2010) (Figura 26)

A partir del establecimiento de estas normas legales, el ANA realiza estudios sobre control de inundaciones en Cuencas priorizadas (ANA, 2017). Uno de estos estudios “Tratamiento de cauce del Río para el Control de Inundaciones en la Cuenca Santa” propone que se realicen modelamientos hidrológicos, para ello realiza una serie de estudios sobre el cauce como alturas de las riberas, ancho máximo de inundabilidad, existencia de estructuras hidráulicas, etc. elaborando escenarios para los tiempos de retorno de 10, 25 y 50 años. (Figura 27)

Asimismo, otro aporte importante de este estudio es la temática de Gestión de Riesgo, donde se establecen Sectores críticos que tienen impacto directo en la infraestructura de las comunidades aledañas, indicando también la dinámica fluvial y sus posibles efectos. (ANA, 2011) (Figura 28)

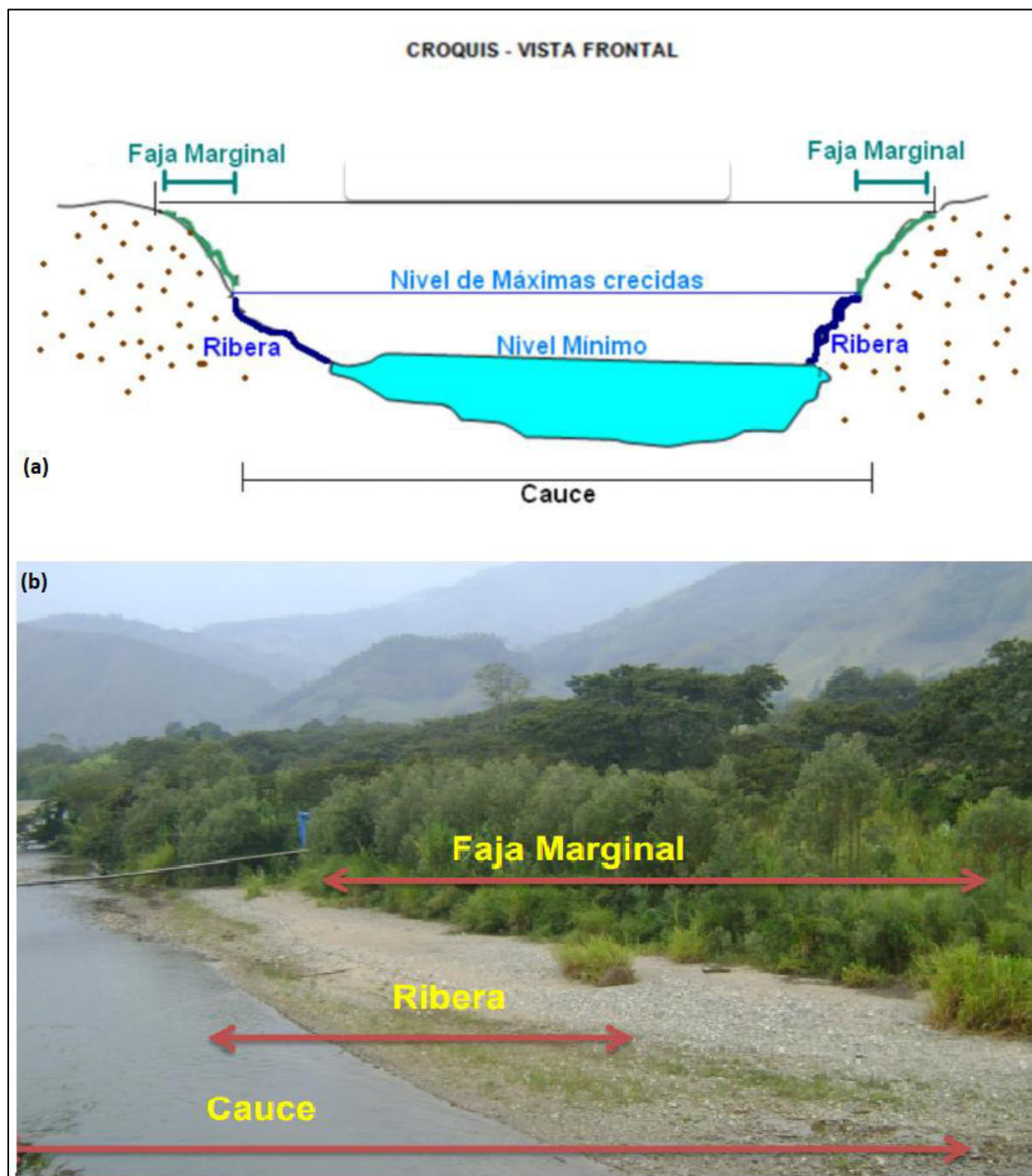


Figura 26. Croquis del establecimiento de la Faja Marginal en un curso de agua. Se presenta un dibujo técnico (a) y una imagen didáctica en el campo (b) con fines metodológicos de presentación.

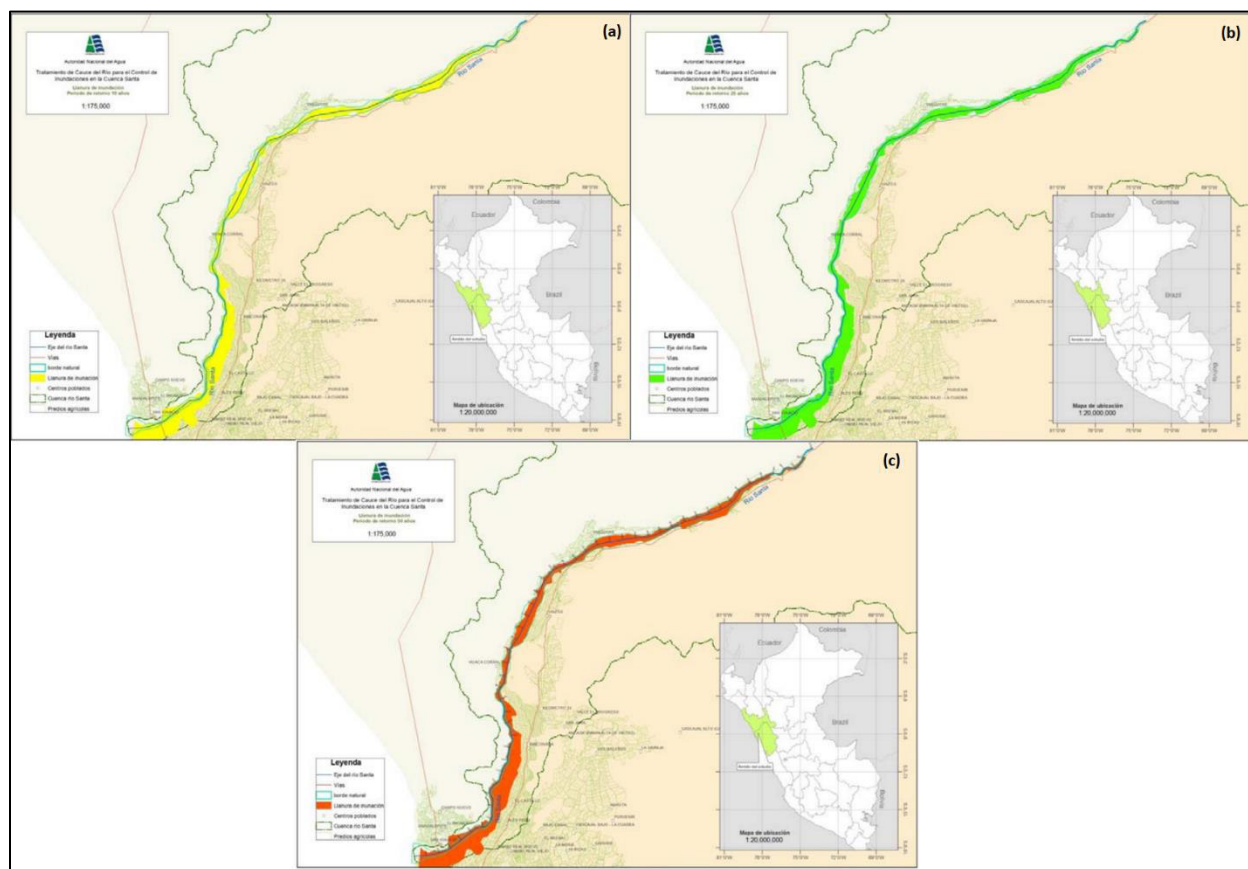
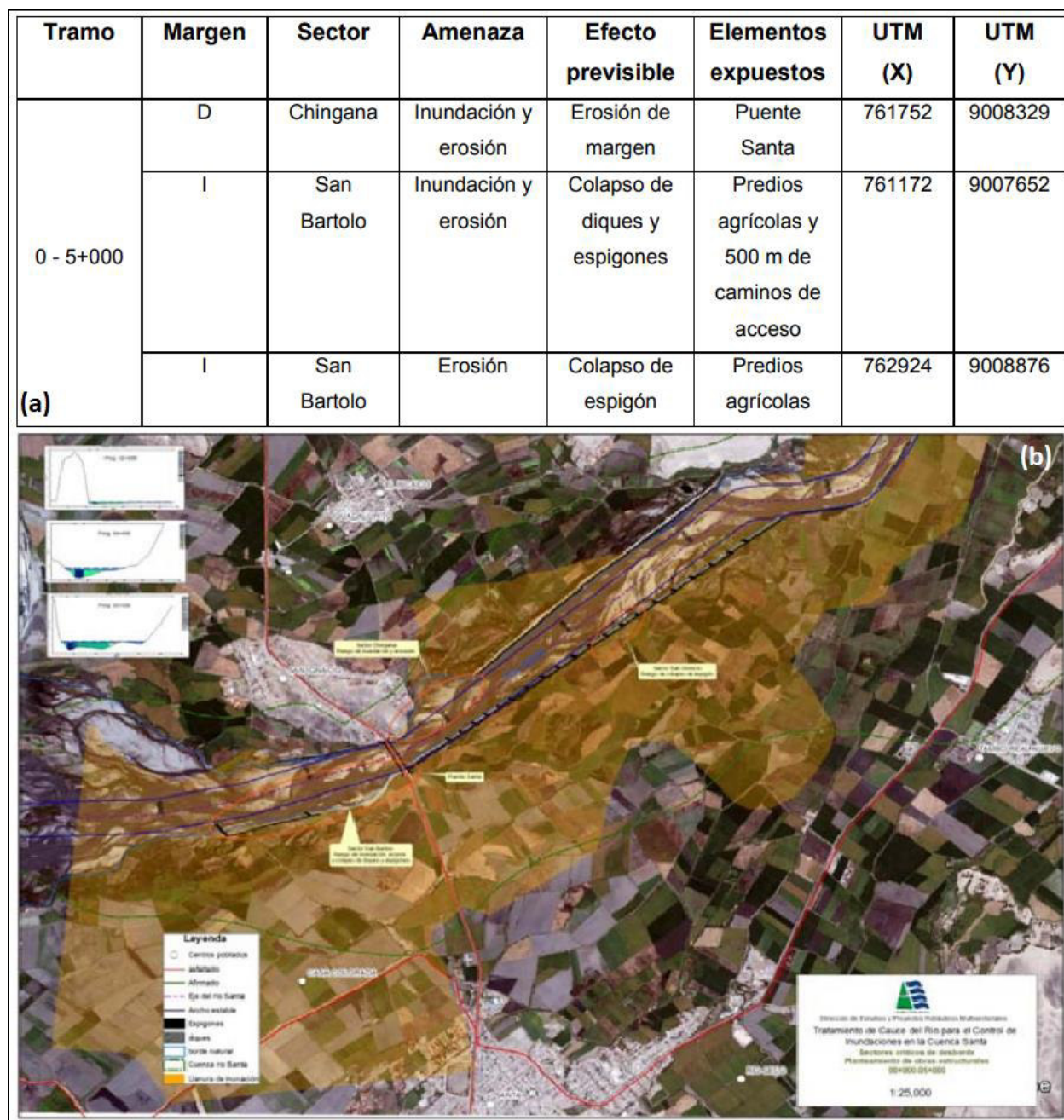


Figura 27. Diferentes escenarios de inundación en la cuenca del río Santa. En la imagen (a) se presenta un tiempo de retorno de 10 años, en la (b) un tiempo de retorno de 25 años y en la (c) un tiempo de retorno de 50 años.

Fuente: Modificado de (ANA, 2011)

A finales del año 2015, la ANA presenta al público el visor “GeoHidro 2.0”, una herramienta del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH), como una herramienta de consulta sobre toda la información hidrológica recopilada y generada por la institución. Aquí se presentan todos los modelos de escenarios trabajados en las cuencas del Perú y dando la posibilidad de generar cartografía temática a partir de ello. (ANA, 2018) (Figura 29)



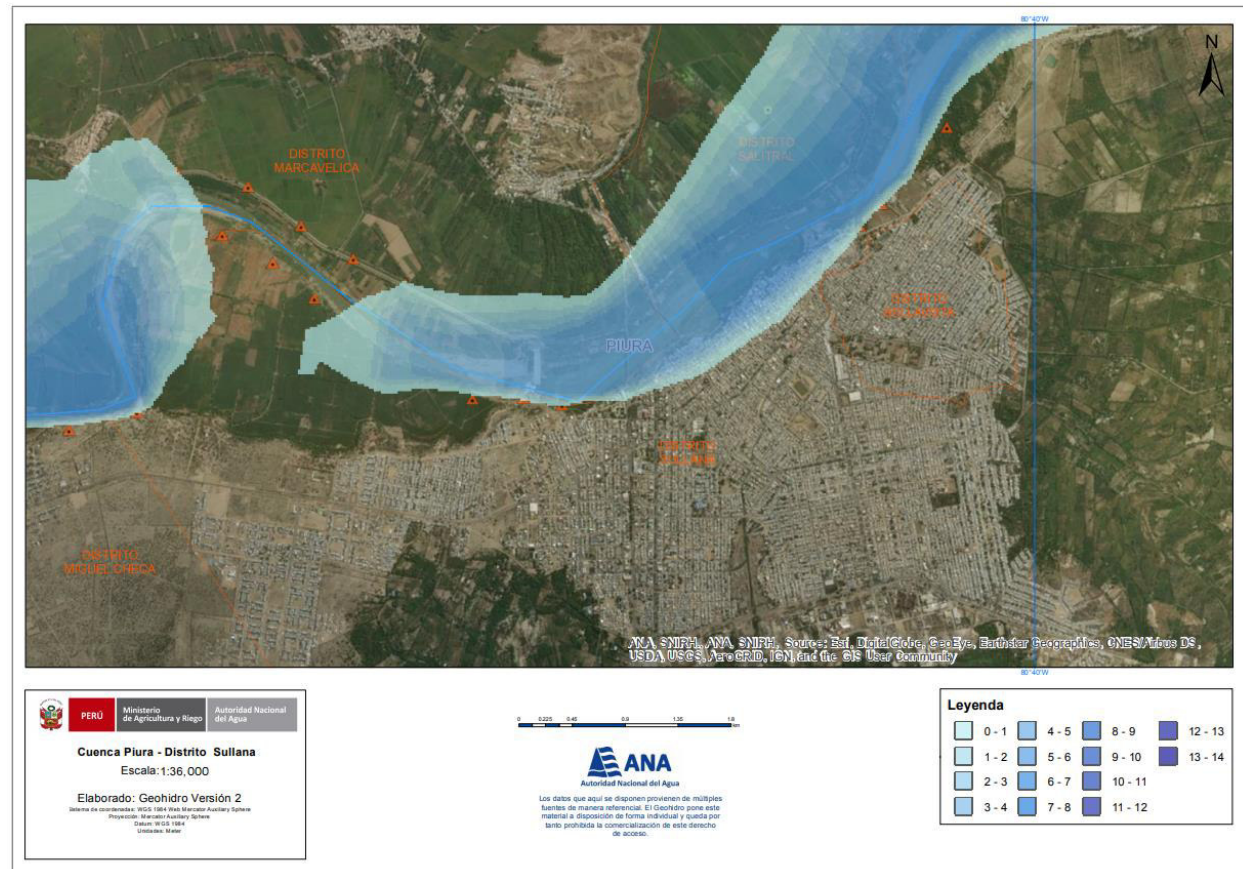


Figura 29. Cartografía generada con el visor Geohidro 2.0, para la Cuenca Piura en el sector Sullana, donde se muestra el modelo de inundación generado por la institución para este sector y parte de la Franja marginal del río Piura.

CAPÍTULO 4
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Introducción

Para realizar la presente investigación se desarrolló un esquema de trabajo basado en las metodologías de trabajos relacionados a la investigación ambiental, tal como se describe en “La experiencia de aplicación de metodologías y técnicas en el levantamiento de información ambiental” (Proyecto Especial Regional de Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente (PER IMA), 2012) Este esquema consta de tres escalas de trabajo: Precampo o gabinete, Trabajo de campo y el Análisis Post campo o de laboratorio.

4.2 Trabajo de pre campo o gabinete

La presente etapa de la investigación comprende toda la recopilación bibliográfica y cartográfica referente al área de estudio. En esta etapa se define cuáles serán las variables que se utilizaran en la investigación, así como la definición del área final que comprenderá el estudio. Es importante recalcar que la información que se recopile en esta etapa servirá de consulta y apoyo para la etapa de Campo y servirá de contraste para la etapa de Postcampo o laboratorio.

4.2.1 Información general de la cuenca del río Tambo

La cuenca del río Tambo se encuentra ubicada al sur del Perú, entre los paralelos 15°45' Sur y 17°12' longitud oeste. Se extiende desde el nivel del mar hasta más de 5500msnm, abarcando zonas de Costa y Sierra. Hidrográficamente, se encuentra ubicada en la vertiente del Pacífico y limita por el norte con la cuenca del río Chili y la cuenca del río Titicaca, por el sur con la cuenca del río Locumba y por el Oeste con la cuenca del río Quilca y el Océano Pacífico.

Políticamente, se encuentra ubicada entre los departamentos de Arequipa, Moquegua entre las provincias de Islay (Arequipa), Mariscal Nieto y General Sánchez Cerro (Moquegua), Sanr Román y El Collao (Puno). (MINAGRI, 1972) (Figura 30)

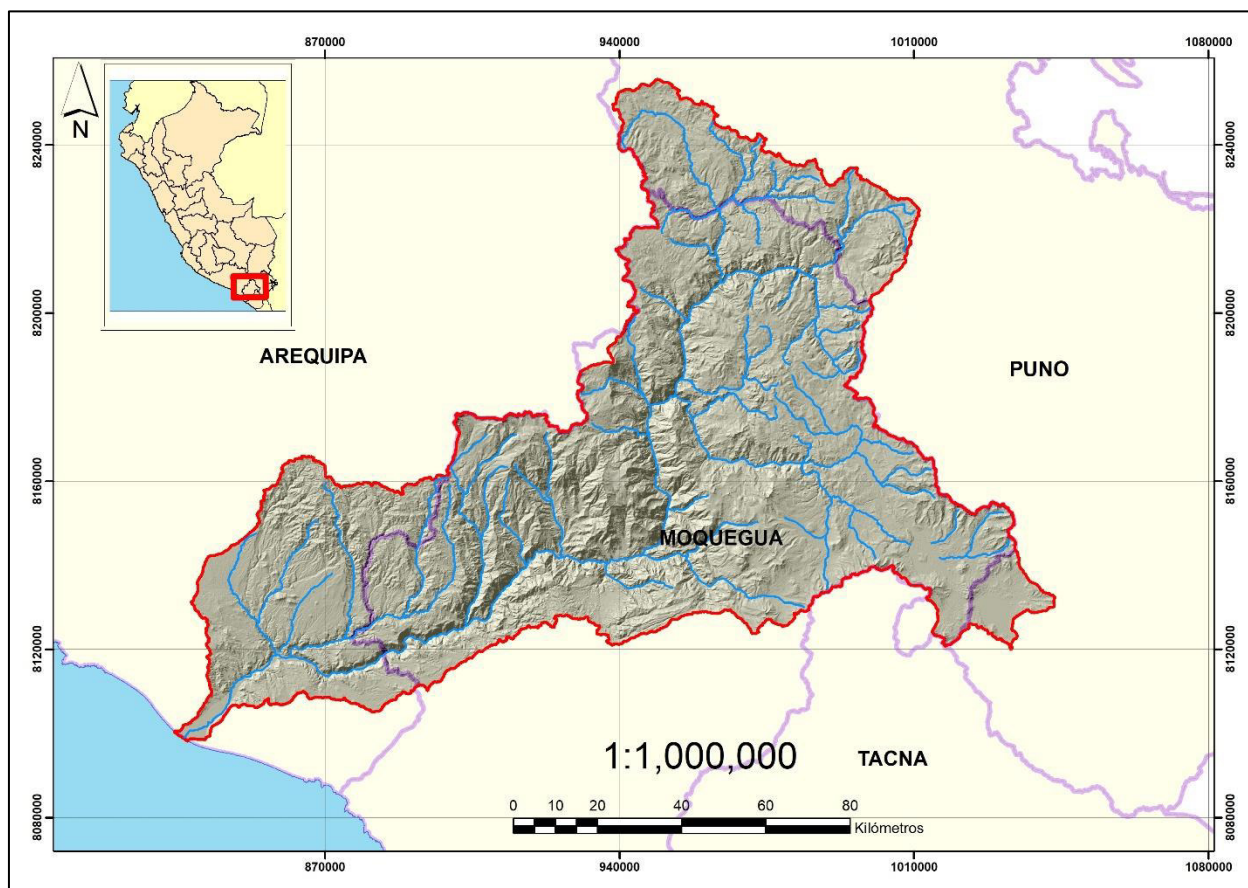


Figura 30. Mapa base de la cuenca del río Tambo. Fuente: Elaboración Propia

En el año 1972, el Ministerio de Agricultura y Riego realiza el estudio “Evaluación de los recursos aguas superficial y condiciones climáticas del valle de Tambo”, donde describen de manera sistémica las aguas superficiales. También, realizaron las primeras descripciones fisiográficas de cada sector de la cuenca, como llanuras aluviales, paisajes montañosos, terrazas, entre otras fisiografías.

Uno de los puntos más importantes es el cálculo de los parámetros geomorfológicos de las cuencas como Forma de cuenca, Coeficiente de compacidad, Factor de forma, Cuantificación de los drenajes y sus grados de ramificación. (Figura 31 y 32)

Parámetros geomorfológicos Cuenca río Tambo		
Parámetros	Fórmula	Valores
Área de la Cuenca	-	13073.456 km ²
Perímetro de la Cuenca	-	893.473m
Índice de compacidad	$0.28 * (P) / \text{SQRT } A$	2.189
Factor de forma	A / L^2	0.152
Altitud media	$\text{SUMATORIA DE (Área x intervalo)} / A$	3552.162m

Figura 31. Cuadro con valores de los parámetros geomorfológicos de la cuenca. Fuente: (MINAGRI, 1978)

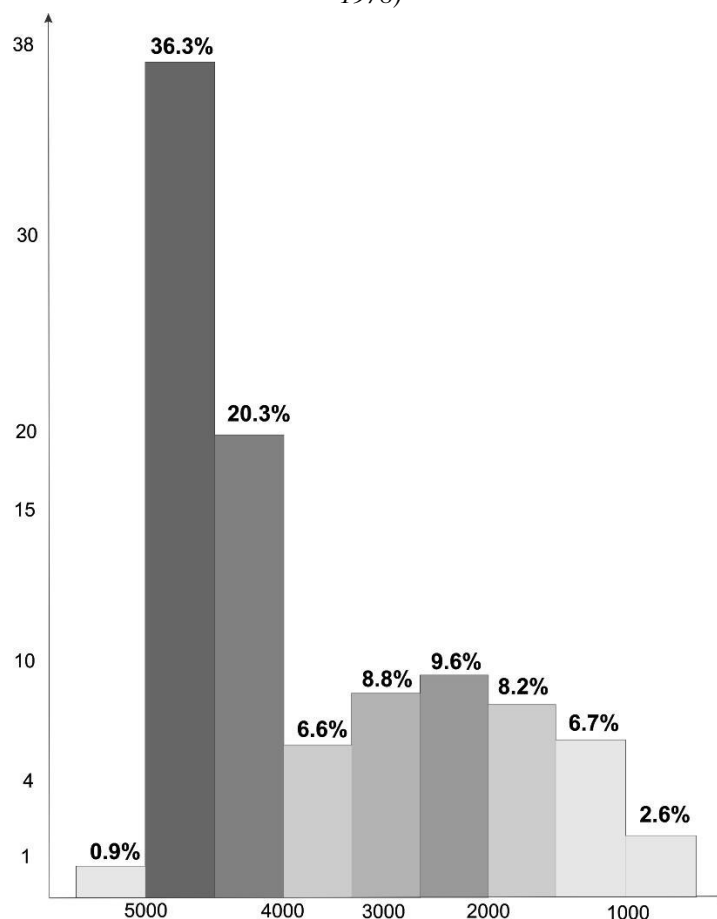


Figura 32. Polígono de frecuencias del río Tambo. Fuente: Modificado de (MINAGRI 1972)

El trabajo del Ministerio de Agricultura permitió también tener una muestra del relieve de la cuenca del río Tambo. Para ello realizó distintos perfiles topográfico a lo largo del rpio principal. (Figura 33)

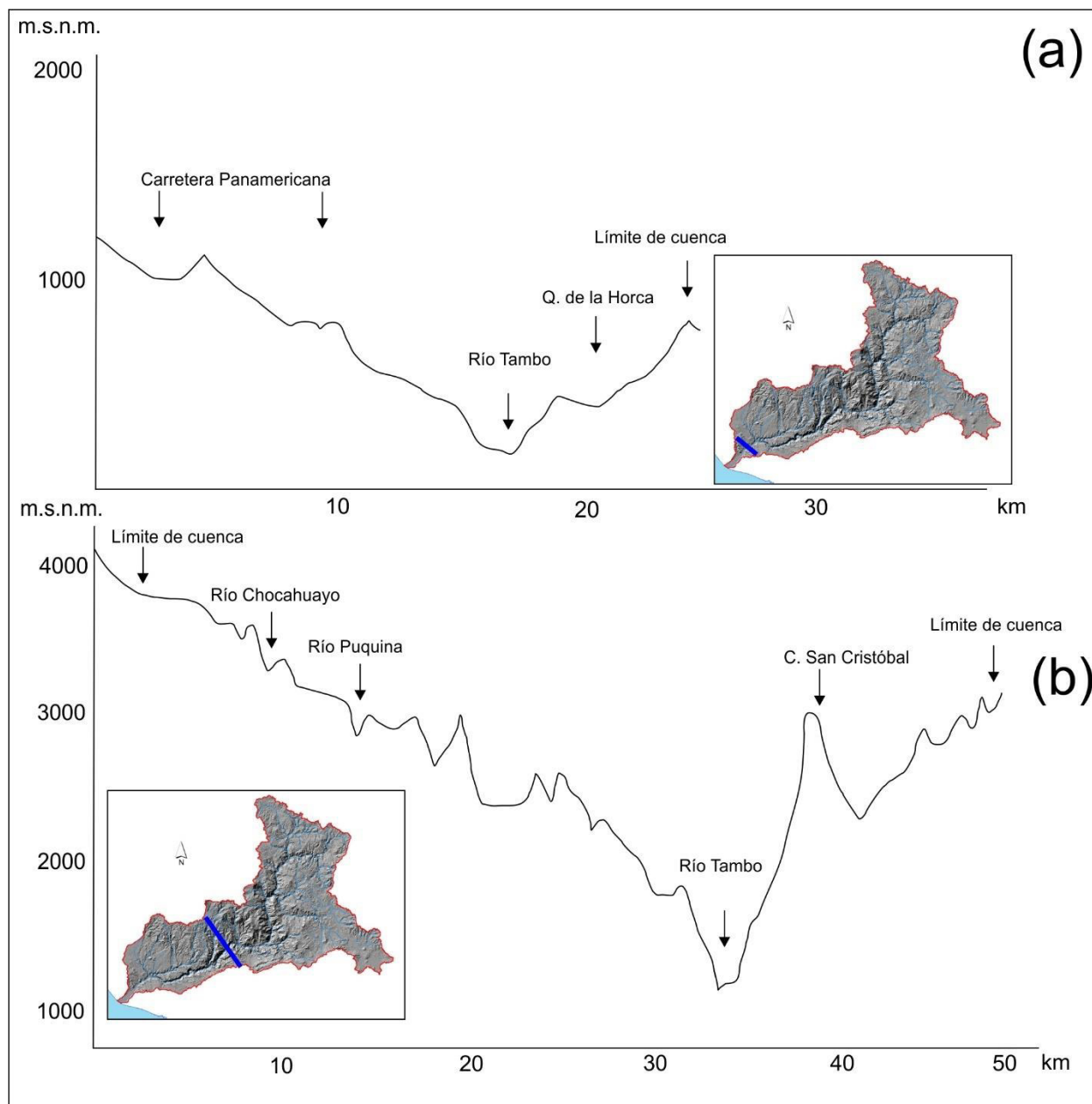


Figura 33. Perfiles topográficos tomados en la cuenca baja (a) y cuenca media (b) del río Tambo. La línea azul indica el corte topográfico en la cuenca. Fuente Modificado de (MINAGRI, 1972)

4.2.2 Trabajos científicos anteriores en el río Tambo

Los trabajos científicos relacionados a la caracterización geográfica de la zona de estudio fueron desarrollados por diferentes Institutos científicos, los cuales realizaban estudios regionales a lo largo de cuencas o franjas de trabajo desde la región costa hasta la región selva.

Uno de esos estudios regionales fue desarrollado por el Servicio Geológico y Minero del Perú, con el desarrollo de la Carta geológica 35-S: Punta de Bombón en 1963 y explicados en el “Boletín Punta de Bombón (35-S) y Clesmesí (35-T), BOL. 5-A” (Bellido & Guevara, 1963), donde se describe las unidades geológicas de las que se compone el valle del río Tambo, así como también se describe los peligros geológicos que se desarrollan a lo largo de todo el valle y poblados cercanos. (Figura 34)

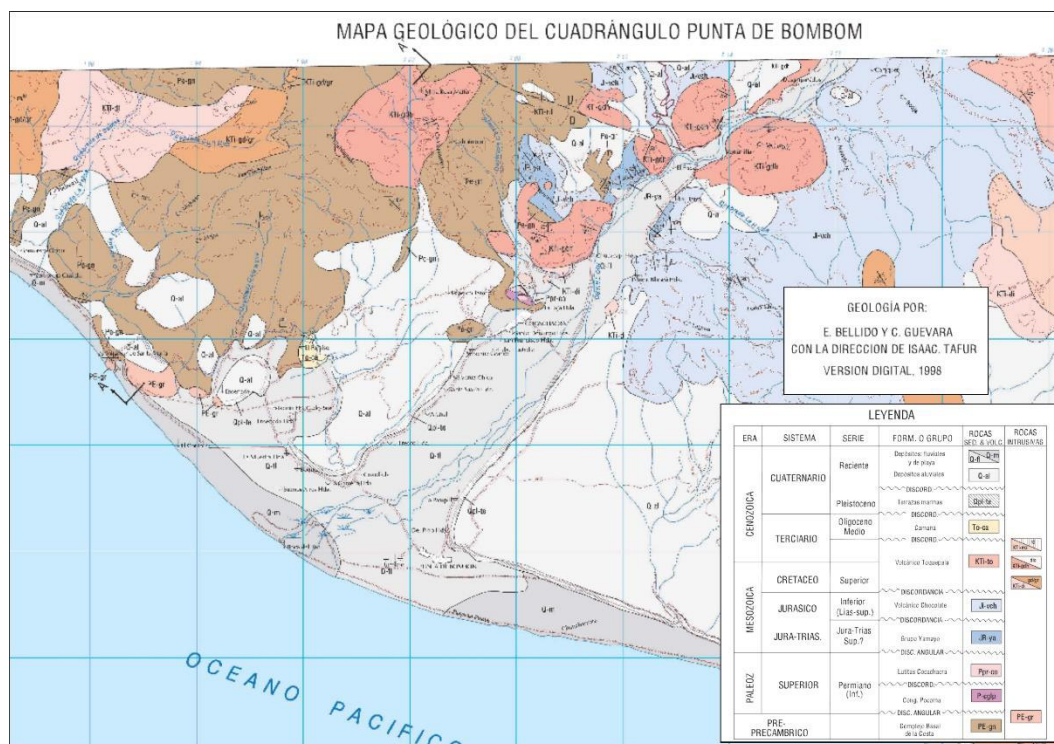


Figura 34. Carta geológica elaborada por la Sociedad Geológica y Minera del Perú en 1963. Fuente Modificado de (Bellido & Guevara, 1963),

En 1974, ONERN elabora el informe técnico: “INVENTARIO, EVALUACION Y USO RACIONAL DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA COSTA: Cuencas de los Ríos Quilca y Tambo”, en el cual desarrollan un análisis sobre cada factor del medio físico y las sociedades que se desarrollan a lo largo de toda la cuenca, y concluyen que el valle del río Tambo es un valle fértil, pero con limitaciones de inundaciones, las cuales deben ser priorizadas para el óptimo aprovechamiento agrícola de la zona. (ONERN, 1974) (Figura 35 y 36)

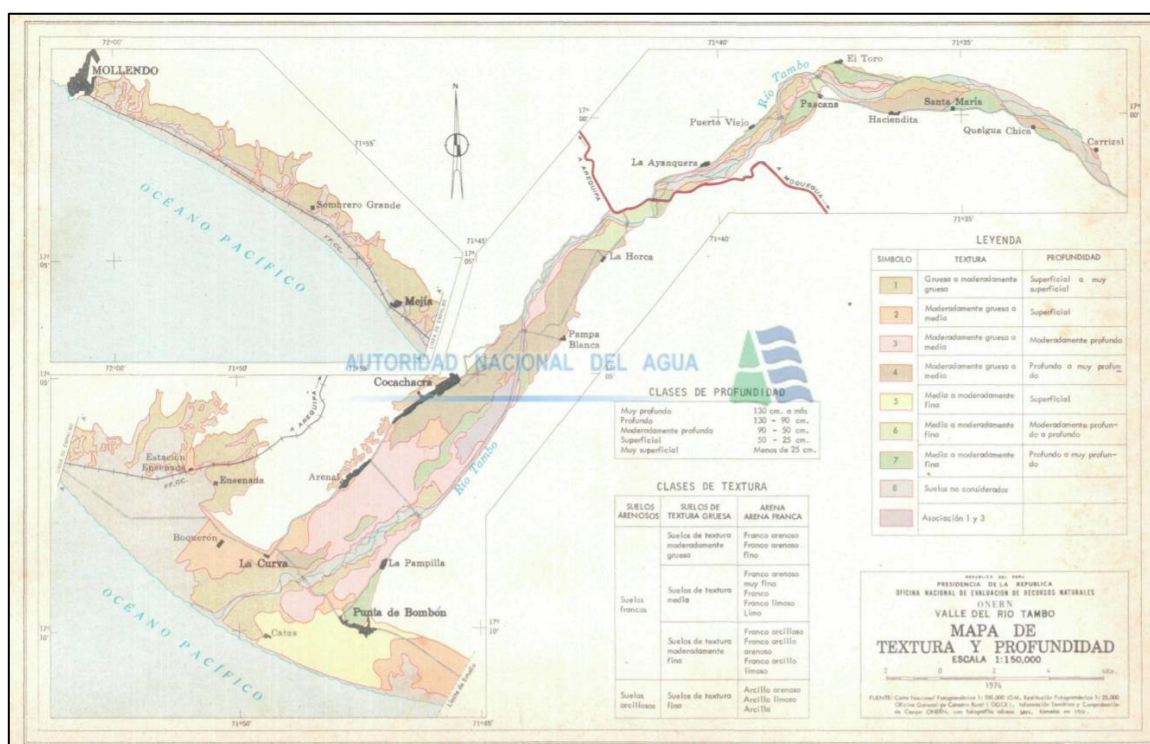


Figura 35. Mapas de textura y profundidad del valle del río Tambo. Fuente: (ONERN, 1974)

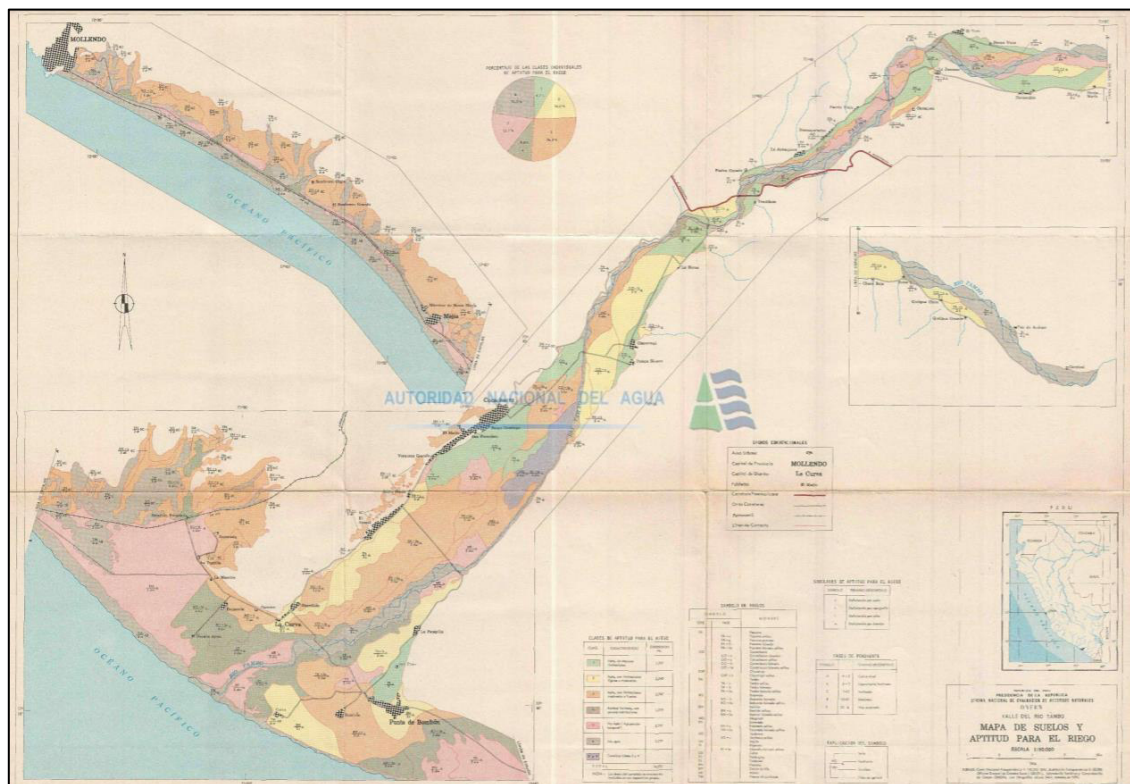


Figura 36. Mapa de suelos y aptitud para riego del valle del río Tambo. Fuente: (ONERN, 1974)

En el año 2000, el (Ministerio de Agricultura y Riego(MINAGRI), 2000) vuelve a realizar un estudio hidrológico, pero enfocado al monitoreo de aguas superficiales, estableciendo tres puntos de muestreo: Puente Freyle, Quelgua y El Chorro (Figura 37), encontrando que las aguas que pasaban por el punto Puente Freyle contenían coliformes fecales y arsénico, las cuales eran destinadas a consumo humano y riego de vegetales. Asimismo, los niveles de salinidad, las concentraciones de Boro y Cloruro hacían el agua no apta para consumo humano directo, pero si tenían potencial para actividades piscícolas. (MINAGRI, 2000)

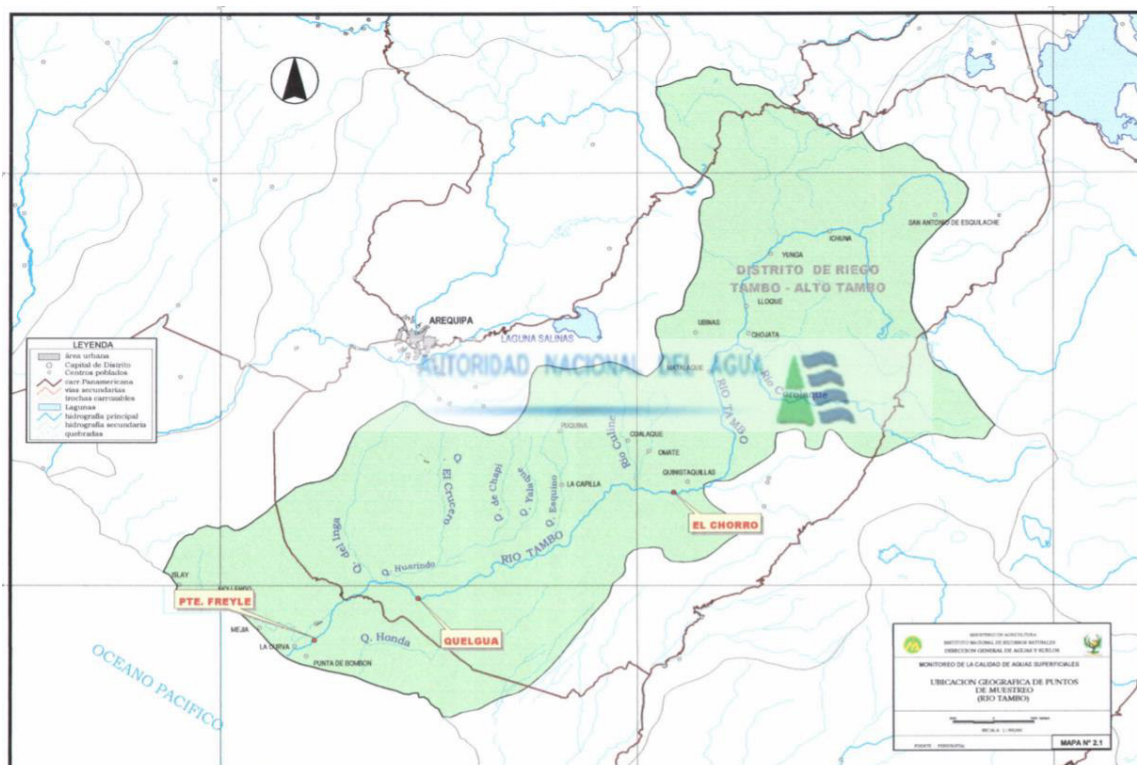


Figura 37. Puntos de muestreo de aguas superficiales tomados por MINAGRI para el monitoreo de calidad de aguas. Fuente: (MINAGRI, 2000)

4.2.3. Elección de las Variables ambientales

Uno de los aspectos importantes en los estudios del medio físico es la elección de las variables ambientales a estudiar, ya que se eligen las que llevan relación directa con los objetivos de la investigación. (Ministerio de Medio Ambiente - España, 2004).

Considerando los objetivos de la presente investigación, donde se resalta la importancia de que elaborar un modelo de peligros que permita evaluar los impactos de las dinámicas fluviales en el área a investigar, mediante la aplicación de un modelo de Evaluación Multicriterio (EMC) (Rahman, 2007). Cada una de las variables a estudiar tiene un método distinto de evaluación, donde se describen el tratamiento de información inicial, generación

de cartografía, tratamiento de los resultados y la influencia en el medio físico. (Ministerio de Medio Ambiente - España, 2004)

4.2.3.1 Variable Geología

La geología es la ciencia natural que estudia la composición, estructura e historia del desarrollo de la corteza terrestre y sus capas más profundas. (Lugo, 1989). La interacción de los agentes de la dinámica terrestre (placas tectónicas, ríos, quebradas, glaciares, volcanes, seres vivos, etc.) conduce a un resultado o proceso como rocas, formas del terreno, secuencias estratigráficas, estructuras tectónicas, etc. (Ministerio de Medio Ambiente - España, 2004)

La descripción de las dinámicas y las características geológicas son fundamentales para un estudio del medio físico sobre la fisiografía del lugar, reconstrucción histórica de eventos geológicos tales como avalanchas, deslizamientos, caídas de roca; todo esto con el fin de comprender la evolución y el estado actual de la morfología local. (Pedraza, 1996)

4.2.3.2 Variable Geomorfología

La geomorfología es la ciencia geológico- geográfica que estudia el relieve terrestre: su estructura, origen, historia del desarrollo y dinámica actual. (Lugo, 1989)

El estudio de la geomorfología local permite identificar, describir y analizar la morfología del terreno a un nivel detallado (Ministerio de Medio Ambiente - España, 2004)., para luego cartografiar unidades geomorfológicas e identificar en conjunto las zonas más afectadas por las dinámicas fluviales del área de estudio.

4.2.3.3 Variable Vegetación

Uno de los componentes principales en la composición del medio físico de un valle es la vegetación silvestre, así como también, la transformación de estos espacios para el desarrollo de las actividades económicas del hombre como son los terrenos de cultivo.

El estudio detallado de la vegetación local permite zonificar diversas comunidades vegetales con características homogéneas, así como evaluar su influencia ante las dinámicas fluviales que se desarrollan en el valle; es decir, determinar el grado de susceptibilidad de las comunidades vegetales ante crecidas inminentes del río o la erosión fluvial en las áreas contiguas al área de estudio. (Pedraza, 1996)

4.2.3.4 Variable Suelos

Uno de los componentes principales en los estudios relacionados al medio físico es el análisis edafológico regional o zonal, ya que es el soporte de la vegetación, de la fauna local y de las actividades socio-económicas de la población. Bajo este contexto, un estudio edafológico nos da muestras importantes de la estructura y composición del suelo en cada sector del área de trabajo para luego asociarlo con su grado de susceptibilidad ante las dinámicas fluviales y determinar los posibles grados de peligros asociados a estos eventos (Pedraza, 1996)

4.2.3.5 Variable Hidrología

Uno de los recursos esenciales en una cuenca hidrográfica es el agua y como está distribuida a través de montañas, campos y otras configuraciones del relieve. Cumple un papel fundamental en la mayor parte de los elementos del medio físico: Tiene relación

directa con el clima local, es parte del suelo, condiciona la existencia de biodiversidad, etc. Esta variable considera tanto aguas superficiales como subterráneas, ya que el conjunto de ellas representa el total de oferta hídrica de la cuenca en cuestión, dependiendo de la cantidad y calidad de información disponible. Por esta razón, es considerada una “variable clave” en el estudio de peligros ambientales, ya que se considera como un factor desencadenante en el desarrollo de algunos fenómenos naturales que afectan directamente a la población local.

4.2.4. Aspectos sociales de la cuenca hidrográfica Tambo

4.2.4.1. Ocupación histórica de la cuenca baja del Río Tambo

El valle del río Tambo, caracterizado por sus fértiles tierras, ha tenido gran importancia en la agricultura y la economía a nivel nacional. Las crónicas que se encuentran en las iglesias del poblado de Cocachacra revelan que existía el pueblo de Cocachacra en la época del incanato, al mando del Apu Mayta, quien era general del Inca Yahuar Huaca y estableció su cuartel general para su política de conquista en el sur del Perú en el año 1250. (Red Muqui, 2011)

Ya en la época del virreinato se construyeron los primeros templos religiosos más antiguos de la región, siendo la parroquia de la Asunción de Cocachacra la más antigua edificación de este tipo que se tenga registro al ser construida en el año 1740. Posteriormente, fue remodelada con paredes de adobe y portada de sillar en 1782. Esta iglesia ha sido declarada Monumento histórico nacional con la resolución del Ministerio de Educación N°329-86-ED el 30 de junio de 1986.

Un hecho importante para este valle es que el ex presidente Eduardo López de la Romaña y Alvizuri era propietario de vastas tierras en este valle y, entre los años 1877 a 1885, trabajo en la modernización de la agricultura en el valle, la cual no prosperó porque la maquinaria fue robada y desmantelada en los muelles de Mollendo. (Eduardo López de Romaña, s.f.)

En el año 1879, se crean los distritos de La Punta y Cocachacra, siendo los primeros distritos en realizar el aprovechamiento del valle en agricultura intensiva.

La ocupación del valle del río Tambo en el conflicto armado con Chile durante la Guerra frenó el desarrollo en las actividades económicas como agricultura, ganadería e instó a los pobladores a refugiarse en los departamentos contiguos hasta el fin del conflicto armado. (Deán Valdivia, s.f)

En 1952 se crea el distrito Dean Valdivia y la cuenca baja del río Tambo pasa a su administración directa compartiendo con el distrito de Punta de Bombón, desarrollando estrategias de aprovechamiento del recurso hídrico y el recurso suelo. (Red Muqui, 2011)

En la actualidad, se desarrollan obras de infraestructura de importancia nacional como la continuación de la carretera Interoceánica y el mantenimiento de la carretera Panamericana Sur en dirección al departamento de Moquegua. (Deán Valdivia, s.f)

4.2.4.2. Demografía

El desarrollo demográfico de la provincia de Islay ha ido incrementándose en los últimos 20 años debido a las políticas del milenio en contra de la analfabetización, las oportunidades locales de desarrollo económico y la valoración cultural de su territorio.

El distrito de Dean Valdivia abarca directamente el núcleo de desarrollo poblacional en el valle del río Tambo, por lo que los ciudadanos se ven inmersos en las actividades económicas como la agricultura y la ganadería, lo que les ha permitido mejorar en los Índices de Desarrollo Humano (IDH) que el PNUD considera para los distritos a nivel nacional. El efecto del canon es muy importante en el desarrollo de oportunidades para la población del valle ya que genera oportunidades laborales y obras de infraestructura que los benefician directamente, incluso logrando un IDH mayor al promedio nacional. (Red Muqui, 2011)

Una de las principales razones es la expansión urbana en Dean Valdivia hacia las laderas contiguas al valle y el desarrollo de nuevas infraestructuras e instituciones en los centros poblados que lo conforman, mientras que, en el distrito de Punta de bombón, la débil presencia del estado en obras de infraestructura y la desigual repartición del canon tiene como consecuencia que la población migre hacia otros distritos o departamentos con mejores oportunidades de desarrollo. (Tabla 03)

*Tabla 03. Cuadro comparativo sobre población total entre los distritos de Punta de Bombón y Dean Valdivia.
Fuente: (INEI, 2017)*

Localidad	Años	Población	Localidad	Años	Población
PUNTA DE BOMBON	2000	6,961	DEAN VALDIVIA	2000	6,218
	2001	6,960		2001	6,273
	2002	6,951		2002	6,321
	2003	6,934		2003	6,363
	2004	6,913		2004	6,400
	2005	6,887		2005	6,433
	2006	6,858		2006	6,464
	2007	6,822		2007	6,487
	2008	6,783		2008	6,507
	2009	6,741		2009	6,527
	2010	6,700		2010	6,545
	2011	6,659		2011	6,563
	2012	6,616		2012	6,581
	2013	6,572		2013	6,596
	2014	6,527		2014	6,608
	2015	6,477		2015	6,619

4.2.4.3. Actividades económicas

Las actividades económicas principales que se desarrollan en el valle del río Tambo son la agricultura, la ganadería y la pesca artesanal en la zona del estuario del río. A través de las primeras generaciones de pobladores hasta la última generación estas actividades económicas se han mantenido, desarrollando la preferencia por cultivos específicos debido a la gran aptitud de los terrenos para su producción.

En la actualidad, la agricultura que se desarrolla en el área de estudio está dividida en las categorías de consumo humano directo, para la agroindustria y para la producción pecuaria, siendo este último el menos relevante para la producción total de productos cosechados. (Red Muqui, 2011)

La caña de azúcar, la papa y el arroz cascara son los principales productos en el caso de la producción agrícola del valle; mientras que la cebolla, la alcachofa y la paprika los cultivos con menos producción en toneladas luego de la temporada de cosecha. (Tabla 04) (Red Muqui, 2011)

La producción pecuaria en la cuenca baja del río Tambo está limitada a los distritos de Dean Valdivia y Punta de Bombón, donde la estadística nos muestra que la mayor producción pecuaria la cumple el distrito de Dean Valdivia, siendo Aves seguidos de vacunos y otros vacunos menores el orden en función a las toneladas de producción. Esto se debe a que las zonas para cultivos han sido priorizadas en esta parte del valle por su valor económico y su importancia en el mercado regional y nacional. (Tabla 05) (Red Muqui, 2011)

Tabla 04. Cuadro de producción agrícola para consumo directo humano y la agroindustria en los distritos que conforman la cuenca baja del río Tambo. Fuente: Modificado de (Red Muqui, 2011)

Producción agrícola	Cocachacra	Dean Valdivia	Punta de Bombón
A) Total Toneladas	45,180	42,086	30,576
Ajo	3,096	12,713	5,896
Papa	37,358	15,398	8,590
Cebolla	3,041	10,159	3,792
B) Total valor Soles	28,412,458	60,948,744	34,270,750
Ajo	11,185,848	49,197,375	21,695,808
Papa	14,868,484	6,467,160	3,770,791
Cebolla	985,284	2,864,838	1,194,619
A) Total Toneladas	85,029	23,872	10,596
Arroz Cáscara	25,048	23,175	5,471
Caña de Azúcar	52,947	0	0
Alcachofa	2,873	244	2,754
Páprika	0	212	620
B) Total valor Soles	45,295,101	22,640,461	18,012,615
Arroz Cáscara	22,467,608	20,787,975	4,913,183
Caña de Azúcar	13,236,668	0	0
Alcachofa	3,665,948	302,316	3,599,478
Páprika	0	972,020	2,963,069
A) Total Toneladas	4,298	41,147	33,483
Alfalfa	2,603	19,312	20,822
Maíz Chala	1,695	21,835	12,622
B) Total valor Soles	400,765	3,804,790	3,071,029
Alfalfa	249,888	1,796,016	1,915,624
Maíz Chala	150,877	2,008,774	1,135,980

Tabla 05. Producción pecuaria en los distritos que conforman la cuenca media y baja del valle del río Tambo. Fuente: (Red Muqui, 2011)

Valores	Total Macro espacio	Cocachacra	Dean Valdivia	Punta de Bombón
Producción Total Pecuaria Anual 2010				
Producción (tn)	12701.7	230.2	1,363	2133.9
Valor (soles)	20,255,047	114,256	155,109	200,098
Distribución %	1	0	0	0
Producción de Aves				
Total Aves	2443246	4046	4,074	3559
Producción (tn)	6279	16	18	14
Valor (soles)	19,556,845	19,163	17,835	16,616
Distribución %	1	0	0	0
Producción de Vacunos				
Total Vacunos	2001	91	410	657
Producción (tn)	6357	202	1,332	2103
Valor (soles)	343,694	30,877	67,650	94,129
Distribución %	1	0	0	0
Producción de Carne de Ganado Menor				
Total Unidades	1739	324	347	304
Producción (tn)	66	12	13	11
Valor (soles)	354,508	64,215	69,624	61,318
Distribución %	1	0	0	0

La producción pesquera es otra actividad importante para los pobladores de Dean Valdivia y Punta de Bombón, ya que el río Tambo es muy rico en especies de alto valor comercial como el Camarón de agua dulce y otras de consumo local como la Lisa y el Pejerrey de río. Esta actividad se ve reforzada por el acceso a los puertos de Mollendo, donde el mercado local se abastece directamente con los productos diarios. Las cantidades de extracción son importantes, llegando hasta el máximo de 6 kg. diarias de Camarón por cada pescador en las épocas que no se encuentra en veda (Abril – Noviembre). (Tabla 06)

Tabla 06. Volumen de extracción de pesca en la cuenca baja del río Tambo. Fuente: (Red Muqui, 2011)

Componentes	Volumen (t/día)	Volumen año	Precio: Soles / kilo	Valor Miles Soles	Valor Total Miles Soles
Totales estimados al año 2010		2960		17,146	4,968
Camarón de río Tambo (a)	1.8	486	10	4,860	
Liza y Pejerrey de río Tambo (a)	1.2	108	1	108	
De pesca diaria para Mercado Local (b)	2	730	5	3,650	12,178
De pesca diaria para Arequipa (b)	0.8	292	20	5,840	
De pesca periódica (b)	84	1,344	2	2,688	

Los destinos finales de la producción comercializada, son los siguientes:

- Destinos de la producción agrícola: 39% a la ciudad de Lima; 38% a la ciudad de Arequipa; 12% para Moquegua y Tacna; 8% para Puno y Cusco; 3% para el mercado local (venta en los cinco distritos).

- Destinos de la producción pecuaria: 70% a la ciudad de Arequipa; 11% para Puno; 12% para Cusco; 2% para Moquegua/Tacna; y 5% para el mercado local. (Red Muqui, 2011)

Otra figura importante es el análisis de la Población Económicamente Activa(PEA), la cual nos da muestra más real de la distribución de las actividades de la población en los distritos del área de estudio.

Estas cifras revelan que aproximadamente 1703 pobladores del distrito de Dean Valdivia se dedican netamente a la agricultura y ganadería, mientras que solo 53 se dedican a la pesca. Igual caso se presenta en el distrito de Punta de Bombón, por lo que se puede afirmar que la población de ambos distritos tiene como actividad principal la agricultura y ganadería. (Tabla 07)

Tabla 07. Población Económicamente Activa de los distritos que componen el Valle del río Tambo. Fuente: (Red Muqui, 2011)

Características	Cocachacra	Dean Valdivia	Punta de Bombón	Mejía
Población Total	9,342	6,318	6,621	1,132
Relación Pob. /PEA	2.21	2.29	2.17	1.87
PEA TOTAL	4,231	2,753	3,052	606
Distribución %	21%	13%	15%	3%
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	1,872	1,703	1,826	297
Distribución %	29%	27%	28%	5%
Pesca	88	53	70	4
Distribución %	12%	7%	10%	1%
Explotación de minas y canteras	141	5	12	1
Distribución %	69%	2%	6%	0%

4.2.4.4. Conflictos socio ambientales

Uno de los puntos más importantes en el aspecto social es la situación ambiental en la que se encuentra el valle del río Tambo. Dentro de este breve análisis se analiza la situación del Proyecto minero “Tía María”, el cual aún no está en ejecución, pero su cercanía al valle y su posible afectación ha creado conflictos con las actividades económicas locales. (Figura 38)

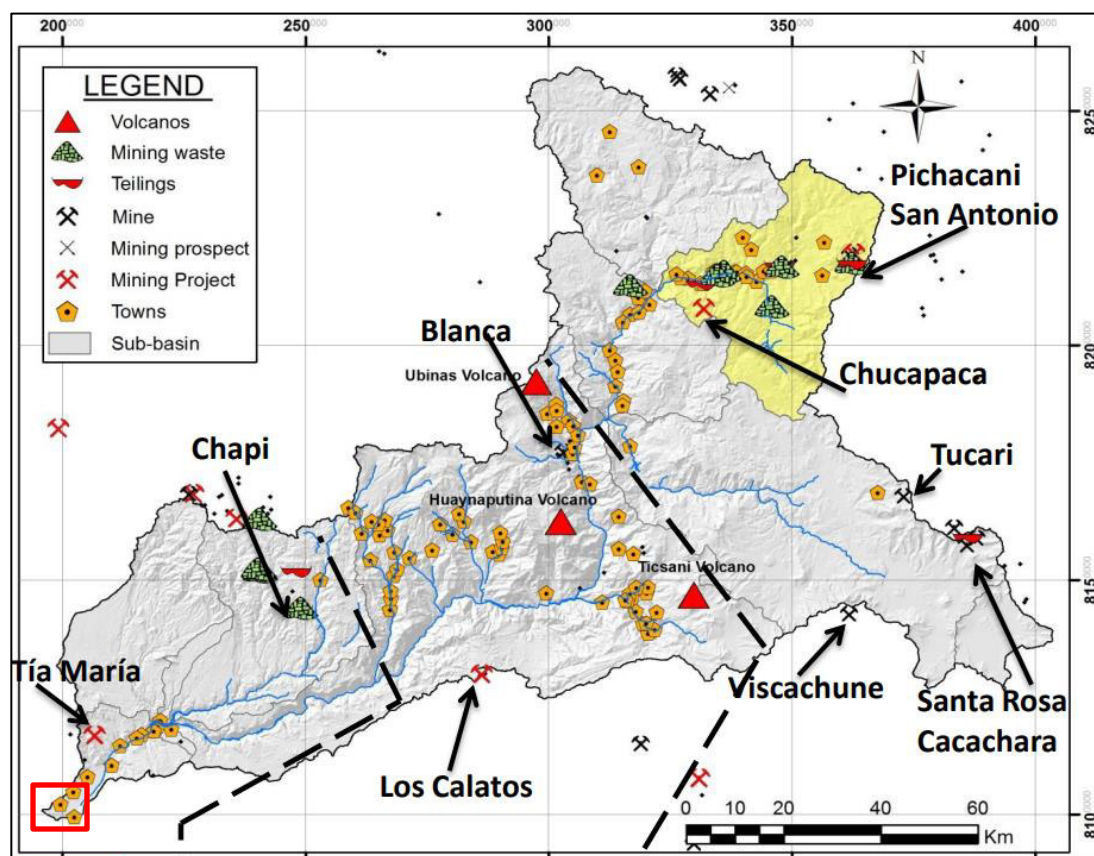


Figura 38. Ubicación de proyectos mineros en la cuenca del río Tambo. Fuente: (Vasquez, 2016)

Conflicto Tía María – Cuenca baja río Tambo

El desarrollo del proyecto minero Tía María es uno de los temas más polémicos en el valle del río Tambo porque existe una fuerte oposición social a la realización de este proyecto que es considerado uno de los más importantes en la región sur del Perú. Consiste en la extracción de cobre con la modalidad de tajo abierto por más de 20 años desde la culminación de las etapas de estudios ambientales. (Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA), 2015)

El proyecto inicia en el año 2003 con una inversión anunciada de US\$ 1,400 millones con el anuncio de la explotación de dos proyectos “La Tapada” (425 338 000 ton de mineral de cobre oxidado) y “Tía María” (225 377 000 ton de mineral de cobre oxidado).

En el año 2008-2009 se elabora el primer EIA, el cual, ante la presión de la población, es revisado por The United Nations Office for Project Services (UNOPS) encontrando 138 observaciones a regularizar. (SPDA, 2015)

En el año 2011, en medio de las huelgas, tres pobladores mueren tras el enfrentamiento con la policía nacional, por lo que el gobierno declara a la zona en estado de emergencia y la priorización de la atención de diferentes sectores ambientalistas y políticos. (Red Muqui, 2011)

Desde ese entonces y hasta el año 2013, se paraliza todo tipo de obra de exploración, para que, a finales de ese año, la empresa Southern Perú entregue la segunda versión de su EIA del proyecto Tía María. Este EIA es aprobado por el Ministerio de Energía y Minas en el año 2014; sin embargo, la población no permitió la reanudación total de las obras de exploración minera desarrollando huelgas indefinidas, por lo que el estado volvió a declarar zona de emergencia para frenar los disturbios.

En la actualidad, no se han solucionado los reclamos por parte de los pobladores de declarar la inviabilidad del proyecto, pero se han formado mesas de diálogo entre la empresa y los dirigentes locales para evitar mayores disturbios y pérdidas económicas para la población del Valle del Tambo. (SPDA, 2015)

Este proyecto adquiere mucha importancia porque influye directamente en el caudal del río Tambo, donde podría represar sectores del cauce para asegurar la irrigación del Valle del Tambo y modificar las dinámicas fluviales y la frágil relación que esta guarda la vegetación, el relieve y la biodiversidad que se encuentra en la cuenca baja del río. (Figura 39).

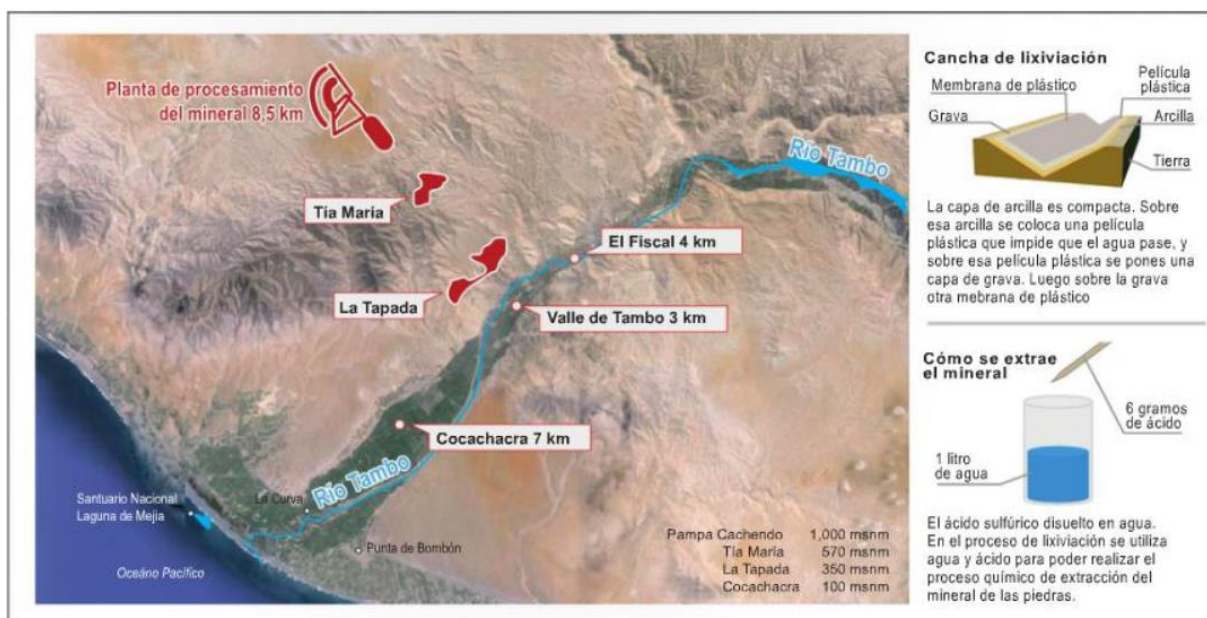


Figura 39. Ubicación del proyecto Tía María y modelos obras de infraestructura para la deposición de relaves minero. Fuente: (SPDA, 2015)

4.2.5 Áreas Naturales Protegidas en la Cuenca del río Tambo

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) Son espacios continentales y/o marinos del territorio nacional reconocidos, establecidos y protegidos legalmente por el Estado como tales, debido a su importancia para la conservación de la diversidad biológica y demás valores asociados de interés cultural, paisajístico y científico, así como por su contribución al desarrollo sostenible del país.

Son áreas geográficamente definidos donde se indican su ubicación, límites y extensión a través de un instrumento legal y demarcados en el terreno. (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), 2018)

En la extensión de la cuenca del río Tambo, se encuentran dos Áreas Naturales Protegidas: La Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca y el Santuario Nacional Lagunas de Mejía. (Figura 40)

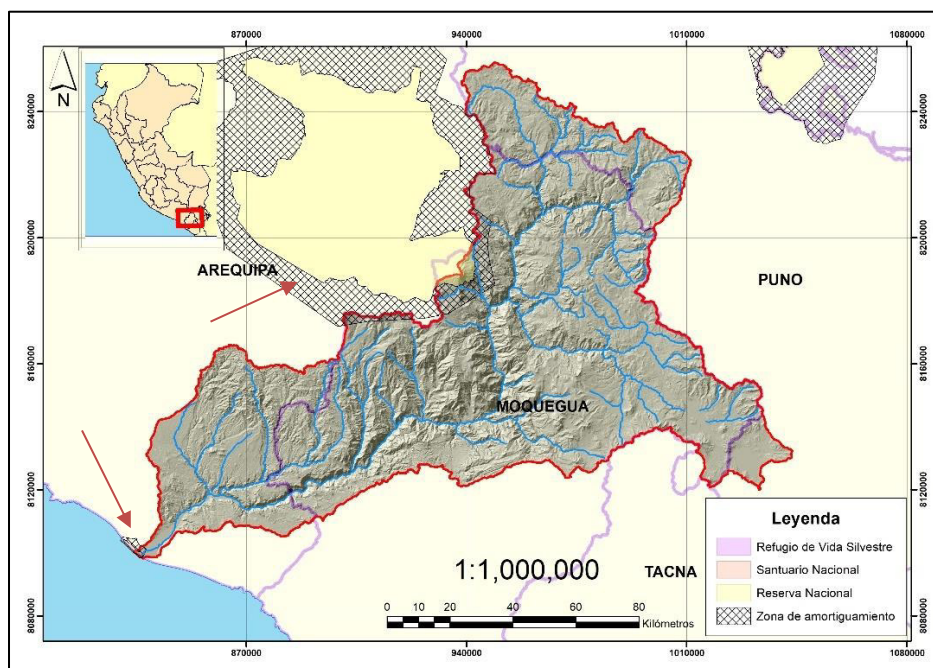


Figura 40. Mapa base de la cuenca del río Tambo, indicando las ANP (señaladas con flechas) que se encuentran dentro de su extensión. Fuente: Elaboración propia.

Para el marco de esta investigación, la más importante de ellas es el Santuario Nacional Lagunas de Mejía, debido a su ubicación cercana a la cuenca baja del río Tambo donde se encuentra la problemática a investigar.

El Santuario Nacional Lagunas de Mejía (SNLM), fue establecido el 24 de febrero de 1984 mediante el Decreto Supremo N°015-84-AG, sobre una superficie de 690.60 ha en el distrito de Dean Valdivia, provincia de Islay, departamento de Arequipa, con el objetivo de conservar una muestra representativa del ecosistema de humedales en nuestro país. (MINAM, 2015) (Figura 41)

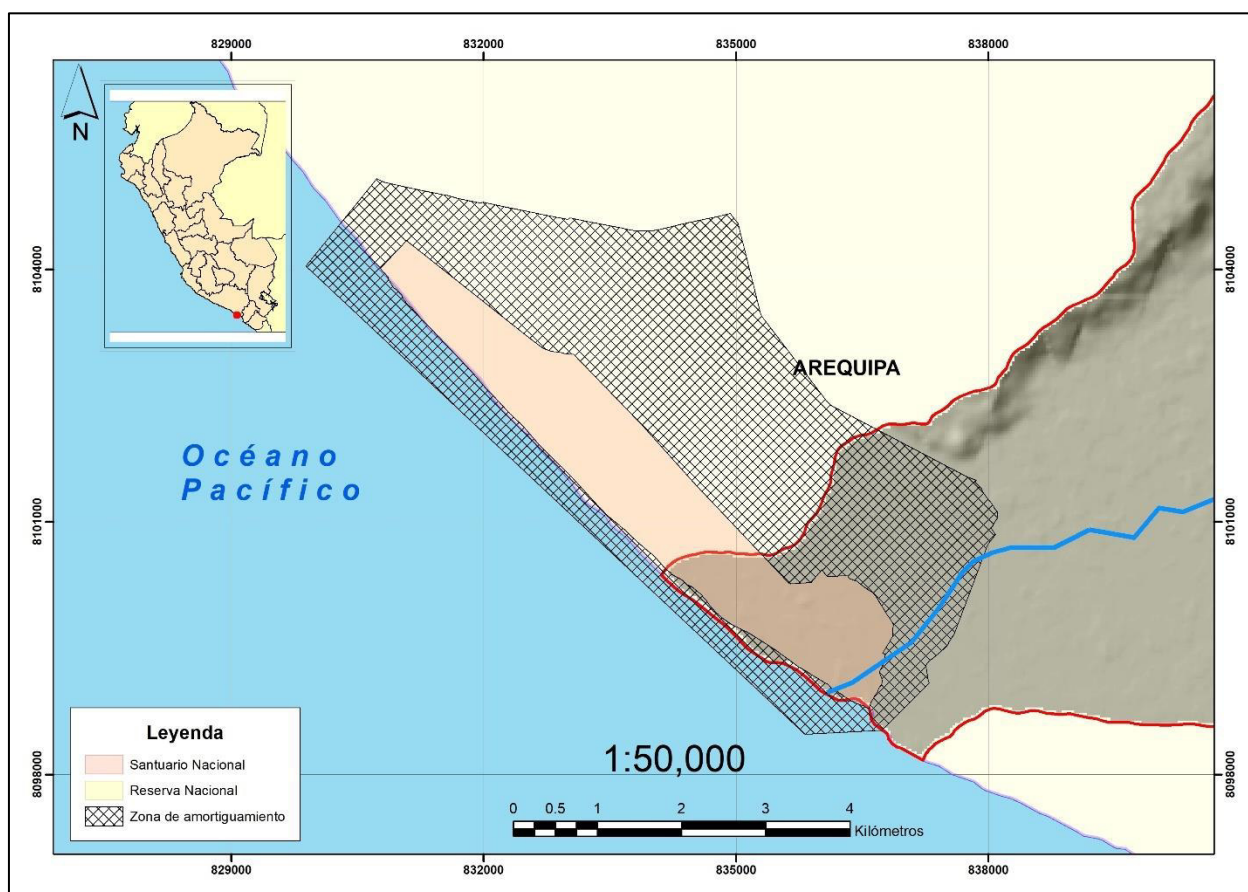


Figura 41. Ubicación del Santuario Nacional Lagunas de Mejía en la cuenca baja del río Tambo. Fuente: Elaboración propia.

Debido a su importancia en la conservación de hábitats para las aves migratorias, fue declarado un sitio RAMSAR en el año 1992, el cual refleja la prioridad de conservación que tiene a nivel internacional. (MINAM, 2015)

Uno de los conflictos más importantes en esta ANP es la disposición de parcelas agrícolas dentro del área protegida, así como también en su zona de amortiguamiento. Esto se debe a titulaciones de tierras anteriores a la creación del ANP donde, hasta el año 2016, no se ha podido resolver la expropiación legal de las tierras de protección. (Alayo, 2016) (Figura 42)



Figura 42. Zona de conflictos por actividades agrícolas en el SNLM, Fuente: (Alayo, 2016)

Estos conflictos han llevado a zonificar el área núcleo del ANP, mediante las categorías de Zonas de Recuperación y Uso Especial, cerca al cauce del río Tambo, lo que indica que esta área se encuentra constantemente en evaluación por los especialistas del SERNANP. (MINAM, 2015). (Figura 43)

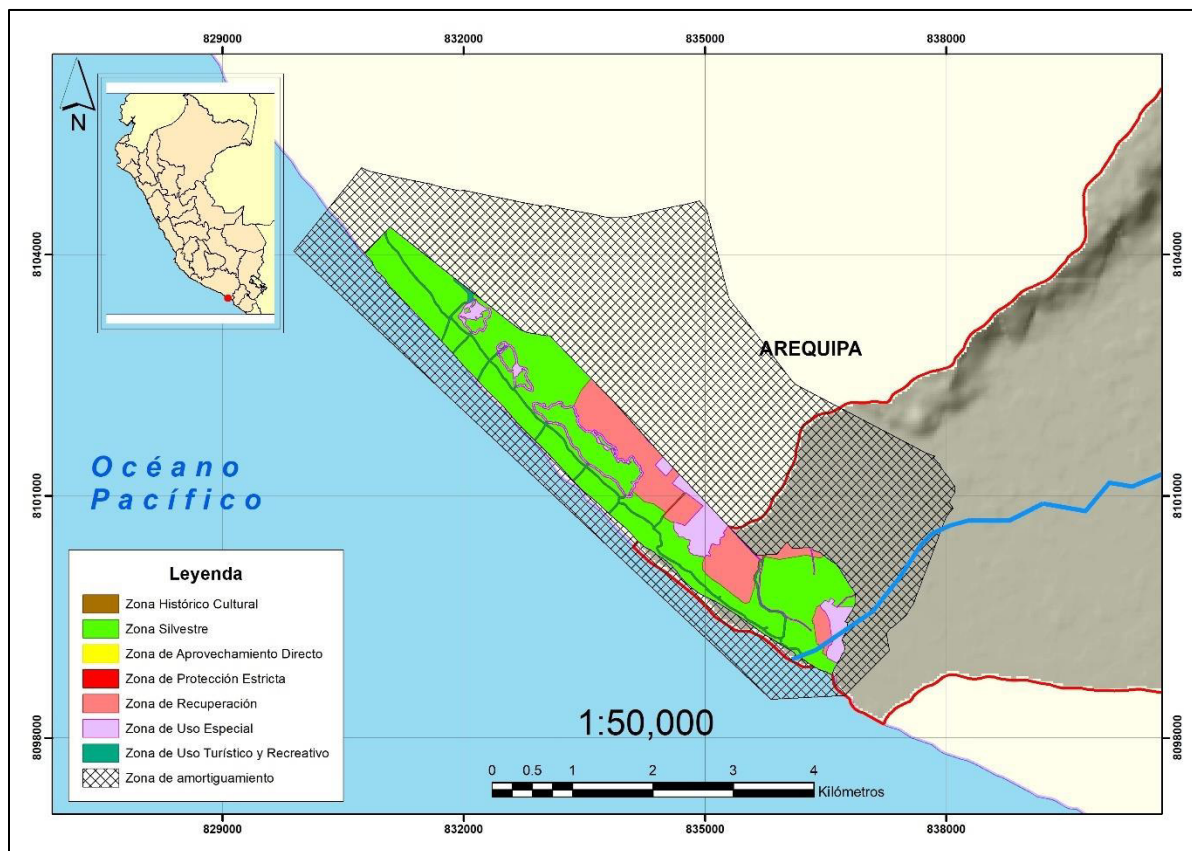


Figura 43. Zonificación ambiental del SNLM, donde se resalta la Zona de recuperación y Uso especial cercanas al cauce del río Tambo. Fuente: (MINAM, 2015), Elaboración propia.

La relación directa con el Área Natural Protegida SNLM es su exposición directa a las dinámicas fluviales del río Tambo, donde se resalta que, los posibles eventos de inundación y posterior modificación del relieve, pueden afectar los ecosistemas que se desarrollan en este espacio, por lo que se resalta la importancia de generar estudios de peligros y cartografía temática para la mejora de la gestión ambiental del ANP.

4.2.6. Elección del área de estudio

La elección del área de estudio es el resultado del análisis de la problemática de la investigación, la información disponible de cada una de las variables ambientales y la representación gráfica de los objetivos planteados. (Ministerio de Medio Ambiente - España, 2004)

Para determinar un área en específico que se enmarque dentro del ámbito jurisdiccional que se ha tomado como marco de investigación, es importante resaltar los siguientes criterios (Figura 44):

Criterios para la elección del área de estudio	Descripción
Problemática de investigación	El área a elegir debe ser representativa del marco de investigación, mostrando de forma directa la problemática real o población objetivo.
Acorde con las variables a investigar	Cada una de las variables a tocar en la investigación deben estar plasmadas en el área de estudio, logrando obtener mejores resultados de investigación.
Relación directa con los objetivos de trabajo	Es necesario que todos los objetivos del trabajo deban ser resueltos en el área de investigación.

Figura 44: Cuadro resumen con criterios para la elección de un área de investigación. Fuente: Modificado de: (Ministerio de Medio Ambiente - España, 2004)

- **Área propuesta**

El área propuesta se encuentra localizada en la cuenca baja del río Tambo, exactamente en la el área de la desembocadura del río, considerando un área total de 1 367.32 ha, pero de las cuales tiene que ser retirada el océano pacífico, ya no está dentro de la problemática a investigar, quedando así un área efectiva de 1 314.33 ha. para la evaluación de la investigación. (Figura 45)

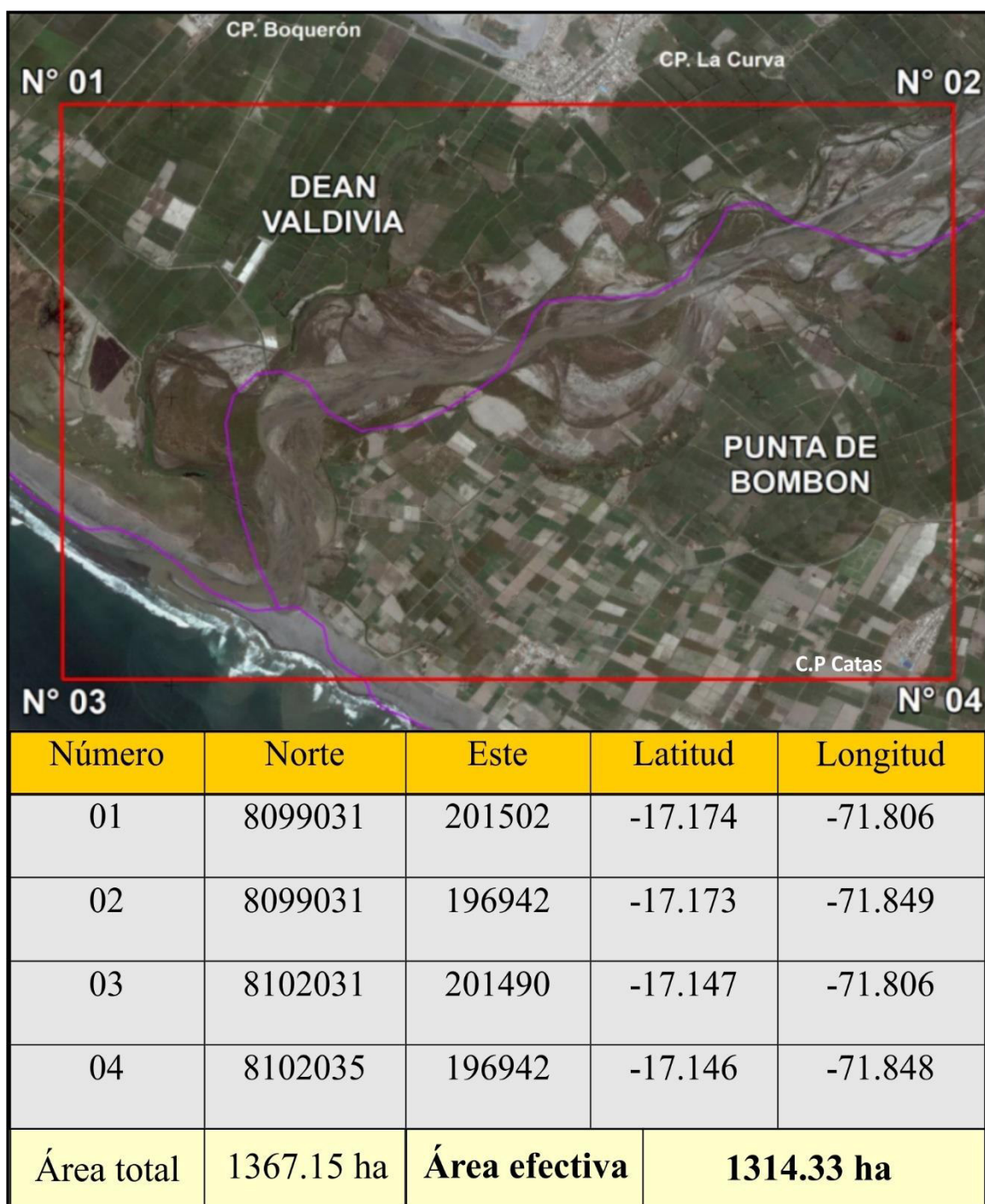


Figura 45. Área de investigación propuesta donde se indican los límites y el área que ocupa. Fuente: Elaboración propia

Para poder validar la propuesta del área de estudio, se ha elaborado el siguiente cuadro resumen con preguntas metodológicas sobre la investigación. (Figura 46)

Criterios para la validación del área de estudio	Respuesta
¿Representa el problema de investigación?	Sí, se enmarca los cambios en las dinámicas físicas del río Tambo y el impacto a las actividades socioeconómicas
¿Todas las variables ambientales se pueden investigar?	Sí, el área de investigación está dentro del área con mayor información de las variables ambientales.
¿Se pueden evaluar todos los objetivos del trabajo?	Sí, ya que toma en cuenta los criterios para la elaboración de un modelo de peligros, las áreas son representativas en el valle del Tambo, se puede clasificar los niveles de peligro, es un área controlada donde se puede evaluar la metodología planteada y proponer nuevos criterios.

Figura 46. Cuadro metodológico para la validación del área de estudio. Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que todos los criterios fueron aprobados, el área de estudio queda validada, enmarcando el ámbito de la presente investigación.

4.2.7. Recopilación de información cartográfica preliminar sobre variables ambientales

Luego de la elección del área de estudio, la recopilación de información cartográfica de las variables ambientales elegidas es fundamental para identificar las unidades de trabajo, así como para definir las escalas de trabajo y la toma de datos en la etapa de campo. (Ministerio de Medio Ambiente - España, 2004)

Para ello, la recopilación bibliográfica se centrará en los criterios como Disponibilidad cartográfica, Información de sensores remotos en el área de estudio y la descripción de unidades de trabajo por cada una de las variables ambientales a trabajar.

4.2.7.1 Información preliminar sobre Geología

La geología local que abarca el área de estudio se caracteriza por presentar grandes zonas de depósitos cuaternarios tanto fluviales como marinos. (Bellido & Guevara, 1963) (Figura 47). La información cartográfica disponible es la siguiente:

- La carta geológica nacional, 35-S Punta de Bombón, donde se identifican las unidades geológicas regionales y su respectivo Boletín geológico descriptivo.
- La cartografía base utilizada es la carta **35S-IV-SE** - Punta de Bombón, a escala 1:25 000, con equidistancias de curvas de nivel cada 5 metros.
- Se utilizaron imágenes satelitales World View 2 del año 2 010, 2 014 y Pléiades año 2016 de libre acceso en la plataforma Google Earth Pro a Escala “1: 25 000”.

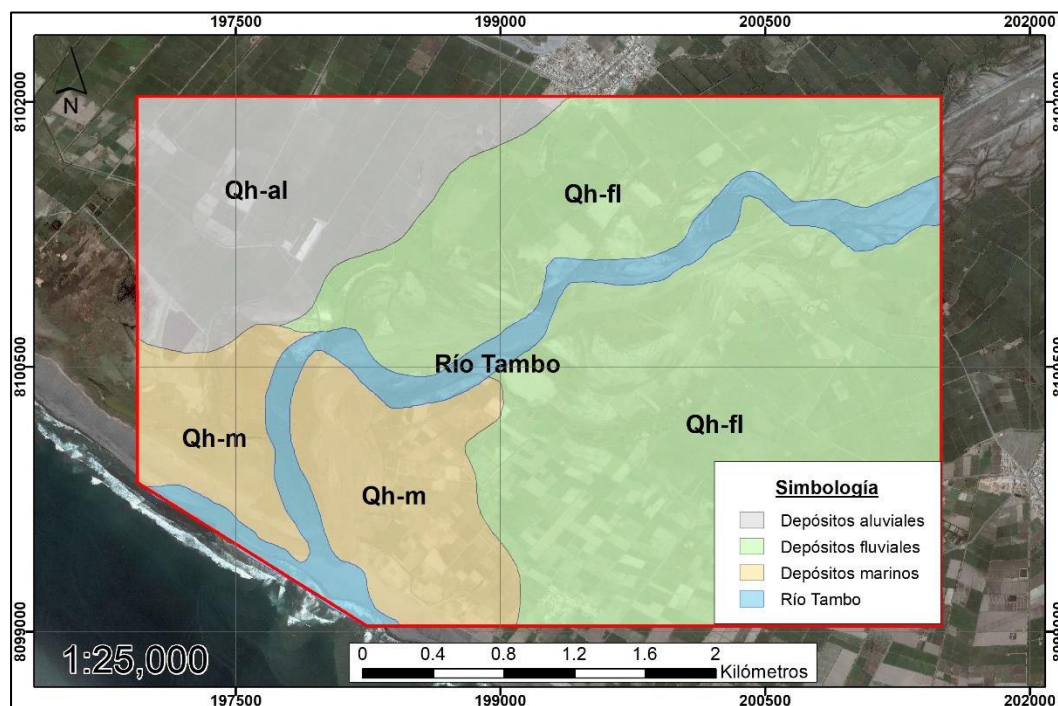


Figura 47. Mapa geológico preliminar de la cuenca baja del río Tambo. Fuente: Modificado de (Bellido & Guevara, 1963)

Unidades geológicas descritas

- **Depósitos marinos** (Cuaternarios) están compuestos por arena gris clara u oscura y hasta negra azulada, de grano grueso, con bancos y lentes de conglomerados fino y grueso con rodados intercalados con algunas arcillas. Estos depósitos están cubiertos por un grueso manto aluvial en las zonas cercanas a los afloramientos volcánicos de la Formación Molla (Bellido & Guevara, 1963). Se encuentran depósitos consolidados a una distancia aproximada de 30m de la costa, y depósitos inconsolidados próximos al litoral, formando playas de arena y grava. Estos depósitos son fácilmente removibles ante la erosión fluvial y las inundaciones, por lo que tienen un grado alto de peligro ante las dinámicas fluviales.

-**Depósitos fluviales** (Cuaternarios) son mezcla de gravas, arenas y arcillas que se encuentran contiguos al cauce del río, y son utilizados en gran parte como terrenos de cultivo. Las zonas más cercanas al cauce del río son fácilmente removibles ante la erosión fluvial y las inundaciones, por lo que tienen un grado alto de peligro ante las dinámicas fluviales. Las zonas más lejanas presentan mayor compactación y estabilidad, por lo que su grado de peligro disminuye.

-**Depósitos aluviales** (Cuaternarios) se han acumulado en forma de amplios conos aluviales de piedemonte a la salida de las quebradas al terreno llano. Están compuestas por restos de andesitas, arenas, gravas y se ubican aproximadamente a 300m. en dirección Noroeste al cauce fluvial del río Tambo. Por encontrarse muy alejados del cauce del río, se han compactado y generado un perfil de suelo de más de 1m., lo que les da estabilidad ante una eventual inundación fluvial.

4.2.7.2 Información preliminar sobre Geomorfología

La información preliminar sobre geomorfología es muy escasa debido a que los estudios realizados en la zona de investigación son de carácter regional, donde solo describen al valle como única unidad geomorfológica, no aportando mayor información en el tema

La metodología utilizada para realizar el cartografiado geomorfológico es una adaptación de la utilizada en la “Guía para la elaboración de estudios del medio físico- Ministerio de Medio Ambiente, España”, la cual proporciona criterios para la correcta identificación de las unidades geomorfológicas. (Ministerio de Medio Ambiente - España, 2004) (Figura 48)

- La cartografía utilizada como base es la carta **35S-IV-SE** - Punta de Bombón, a escala 1:25 000, con equidistancias cada 5 metros.
- Se utilizaron imágenes satelitales World View 2 del año 2010, 2014 y Pléiades año 2016 de libre acceso en la plataforma Google Earth Pro a Escala “1: 25 000”.
- La carta geológica nacional, 35-S Punta de Bombón, como base para la interpretación geomorfológica local.
- Las técnicas descritas en la “Guía para estudios del Medio físico” (Ministerio de Medio Ambiente - España, 2004)

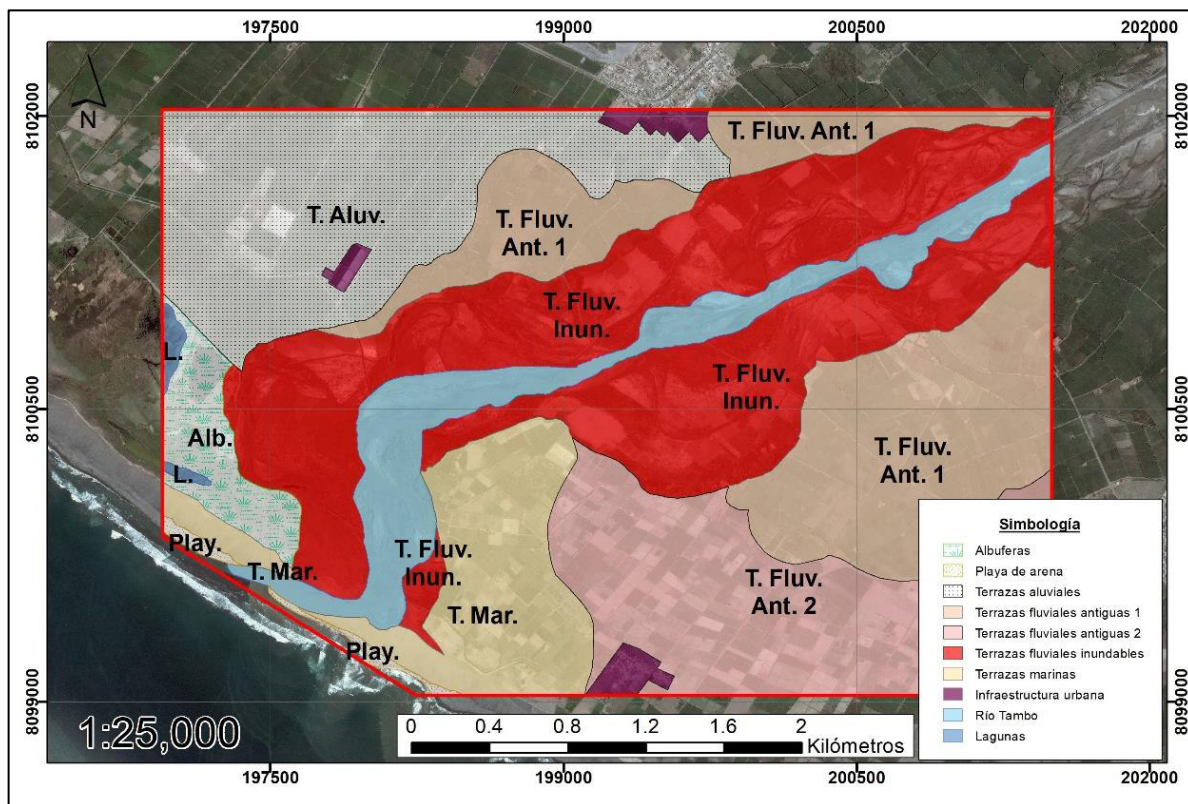


Figura 48 Mapa geomorfológico preliminar de la cuenca baja del río Tambo. Fuente: Elaboración propia.

Unidades geomorfológicas elaboradas

Unidad Terrazas fluviales.

Las unidades de terrazas están formadas por la sedimentación de depósitos fluviales provenientes del río Tambo, los cuales representan los distintos cauces fluviales y su zona de influencia. Representa 826.68 ha. del total del área de estudio y se distinguen tres niveles de terrazas en el área de trabajo:

A.1 Terrazas fluviales inundables.

Son los primeros depósitos que el río transporta a lo largo de su cauce, sedimentándose en la época de estiaje, desarrollando capas horizontales paralelos al río. Están compuestas por limos, arenas y arcillas y gravas de granulometría 0.2-0.5mm. Están cubiertas de monte ribereño, y algunos matorrales.

A.2 Terrazas fluviales antiguas 1.

Son depósitos antiguos, dejados por el río en estadios anteriores. Se ubican en las zonas contiguas a las terrazas inundables, y son utilizados como terrenos de cultivo, sin embargo, aún se pueden observar los límites naturales dejados por los anteriores cauces, en los cuales se han construido acequias para la irrigación del cultivo.

A.3 Terrazas fluviales antiguas 2.

Son las terrazas de mayor antigüedad, posiblemente, trazadas por el cauce inicial del río Tambo en trayecto a su desembocadura. Estas terrazas han sido transformadas en su totalidad por los terrenos de cultivos, y solo se reconocen por su estructura sedimentaria. Está compuesta por cantos rodados, arcillas y arenas.

Unidad Terrazas aluviales.

Las unidades de terrazas aluviales están formadas por la sedimentación de depósitos violenta de sedimentos provenientes de las montañas que rodean al río Tambo, los cuales representan los distintos cursos de agua que discurren a partir de los interfluvios. Representa 198.87 ha. del total del área de estudio y se encuentran lejanas al cauce del río Tambo.

Unidad Terrazas marinas.

Son formas de relieve modeladas por la acumulación de los depósitos marinos bajo el mar y evidenciadas por el retroceso marino en la costa sur del Perú. Tienen una pendiente uniforme y se evidencian por los cambios abruptos entre la playa y la vegetación de gramadal. En el área de interés se encuentran cubiertos por terrenos de cultivos y por infraestructura urbana en desarrollo. Además, es posible observar vestigios de las terrazas paralelas al litoral. Representa 111.29 ha. del área de estudio.

Unidad Playas.

Los depósitos marinos forman playas en todo el litoral. Estas están compuestas por arenas grises claras hasta oscuras, con gran cantidad de material orgánico residual proveniente del valle del río Tambo. Representa 6.37 ha. del total del área de estudio.

Unidad Albuferas.

Son lagunas formadas en el litoral por la combinación del agua del río Tambo y agua del mar en la napa freática. Morfológicamente son depresiones en el terreno y forman un ecosistema de humedales en el área de interés. Representa el 37.22 ha. del área de estudio.

4.2.7.3 Información preliminar sobre Vegetación

La metodología utilizada para el cartografiado de vegetación fue la fotointerpretación basada en imágenes satelitales y con un trabajo de campo posterior para la validación de las comunidades vegetales identificadas.

- La codificación de las unidades de vegetación está basada en el documento “Plan Maestro del Santuario Nacional Mejía 2015 – 2019” (Ministerio del Ambiente (MINAM), 2015).

- La identificación de las especies vegetales está elaborada en el libro “Guía para flórula del Santuario Nacional Lagunas de Mejía” (Ministerio del ambiente (MINAM) - Santuario Nacional Lagunas de Mejía, 2010)

- Se utilizaron imágenes satelitales World View 2 del año 2010, 2014 y Pléiades año 2016 de libre acceso en la plataforma Google Earth Pro a Escala “1: 25 000”.

Los nombres de las comunidades vegetales están basados en el Plan Maestro 2015-2019 del Santuario Nacional Lagunas de Mejía, el cual ha desarrollado una zonificación de ambientes en función a la flora y fauna predominante en cada sector.

El muestreo de campo fue necesario para discriminar áreas similares desde la óptica de la imagen satelital, otorgando precisión en la sectorización final de la vegetación local.

Unidades de vegetación

Se han reconocido 05 diferentes unidades de vegetación más representativos en el área de trabajo (Figura 49), las cuales se describen como:

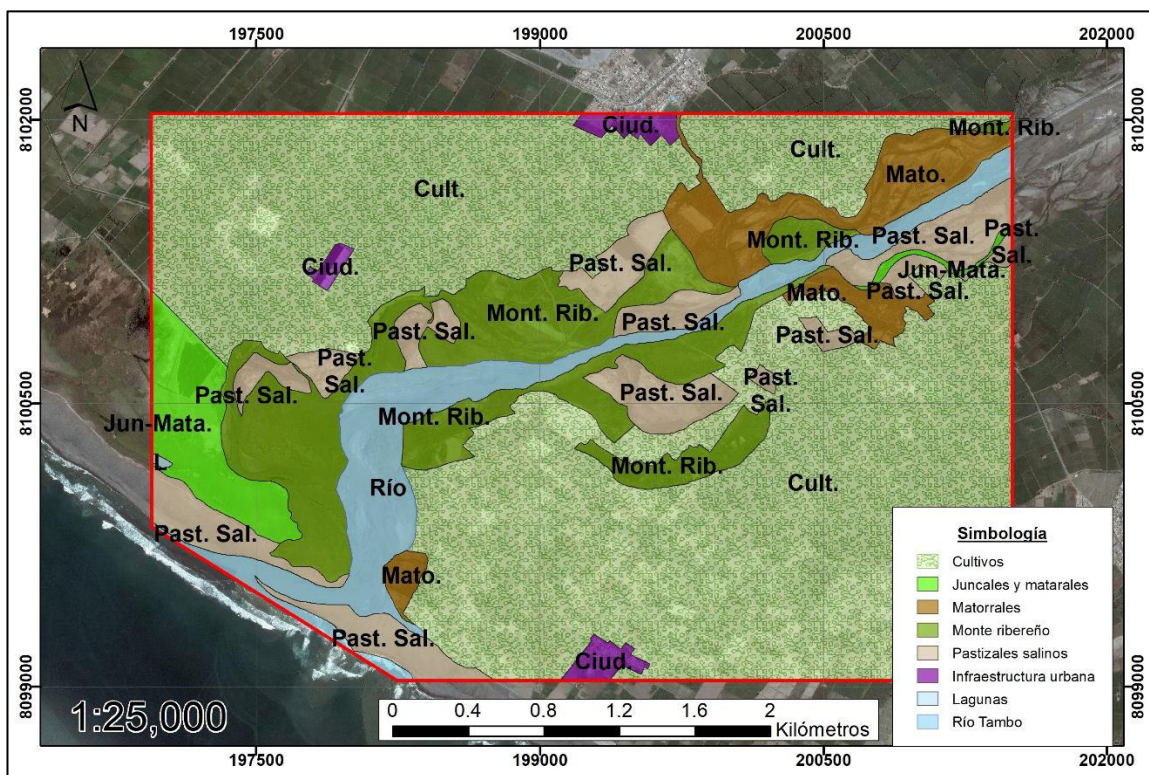


Figura 49: Mapa de vegetación preliminar de la cuenca baja del río Tambo. Fuente: Modificado de (ONERN, 1974)

Matorrales

La comunidad de matorrales está compuesta por arbustos pequeños, de tamaños promedio entre 20 a 50 cm. Se desarrollan en zonas con suelos no compactados, cercanos al cauce del río o en montes de arena dentro del mismo. Este tipo de vegetación propone poca resistencia a las masas de agua en caso de una inundación u al tener un sustrato de arenas y gravas no consolidadas, son fácilmente removibles ante la erosión fluvial en la época de crecida del río. Su extensión aproximada es de 66.63ha en la zona de trabajo.

Algunas especies en este grupo son: “Ajenjo” (*Ambrosia peruviana*), “Hierba Alcalí” (*Cressa tuxillensis*), “Cola de Alacrán” (*Heliotropium curassavium*), “Llantén” (*Plantago major*), “Verdolaga” (*Portulaca oleraceae*). (MINAM, 2010)

Juncales y matorrales

La unidad de juncales y matorrales se extiende a lo largo de todo del Santuario Nacional Lagunas de Mejía, y se ubica en el área de estudio en el sector Sur Oeste, cercanos al cauce del río Tambo y a la unidad de Monte ribereño. Se caracteriza por la altura de sus especies, las cuales llegan hasta los 3 metros de alto, sin ramificaciones o bifurcaciones y creciendo en zonas donde la napa freática es muy superficial (0.30cm aprox.) o permanentemente inundadas. No presenta resistencia ante una inundación, pues sus tallos son alargados y hasta flotantes, por lo que soporta la presión del volumen de agua sin problemas. Sin embargo, en tierra firme compacta el terreno y lo hace menos susceptible a la erosión fluvial. Tiene una extensión aproximada de 45.30 ha. en el área de estudio.

Las especies en este grupo son: “Junco” (*Scirpus americanus*) y “Matara” (*Typha angustifolia*)

Monte ribereño

La comunidad vegetal denominada Monte ribereño alberga un gran número de especies vegetales que crecen cercanos al cauce del río, las cuales en su mayoría son arrastradas desde la cuenca alta del río y depositados en las zonas de baja pendiente cercanas a la desembocadura. Está compuesta de arbustos mayores a 0.50m hasta los 2m., con espinas y hojas pequeñas; algunos árboles hasta 3 metros de alto, de tallo leñoso

y delgados. Esta zona es importante por albergar la mayor parte de avifauna silvestre de todo el Santuario Nacional Lagunas de Mejía, siendo el hábitat de especies protegidas como la “Choca de pico amarillo” (*Fulica rufifrons*), el “Fringilo Apizarrado” (*Xenospingus concolor*) y el “Siete colores del Totoral” (*Tachuris rubrigastra*). (MINAM, 2015)

Algunas especies son: “Pájaro bobo” (*Tessaria integrifolia*), “Venadillo” (*Spilanthes urens*), “Noccho” (*Solanum nigra*), “Lengua de vaca” (*Rumex crispus*), “Carricillo” (*Phragmites australis*), “Palo verde” (*Parkinsonia aculeata*), “Huacán” (*Myrica pavonis*), “Paico” (*Chenopodium ambrosoides*), etc. (MINAM, 2010)

Pastizales salinos

Las unidades de pastizales salinos se encuentran en toda el área de estudio, principalmente en la zona del estuario del río Tambo y también en los cauces antiguos dejados por el río en su acción de erosión y transporte. Se caracterizan porque está compuesto por vegetación halófila, con diferentes especies y adaptaciones para soportar los altos niveles de salinidad que se desarrollan en el sustrato. Es común ver en esta zona afloramiento de sales provenientes de los cultivos cercanos con riego por inundación. La vegetación se desarrolla en forma de “parches” y se encuentran en pendientes llanas y onduladas, siendo altamente susceptibles a eventos de inundación por el desborde del río en épocas de crecida. Representa 117 ha del total del área de trabajo y algunas especies representativas son: “Verdolaguilla” (*Salicornia fruticosa*), “Verdolaga de la playa” (*Sesuvium portulacastrum*), “Grama” (*Sporobolus virginicus*), “Pega” (*Polypogon*

interruptus), “Grama dulce” (*Paspalum vaginatum*), “Tabaquito” (*Nolana thinophila*), “Grama salada” (*Distichlia spicata*), entre otras. (MINAM, 2010)

Campos de cultivo

Son las unidades de vegetación, más desarrolladas en el área de estudio. El valle en la cuenca baja del río Tambo tiene un gran potencial para extensos cultivos en limpio. Sin embargo, su alto contenido en sales, reduce las opciones al desarrollo de cultivos mediante el riego por inundación (gravedad) a lo largo de todo el cauce del río, lo que provoca saturación de la napa freática (Meneses, 1998) y grandes afloramientos de sal en otros sectores del valle. En la época de siembra se decide sembrar casi en totalidad una sola especie vegetal (arroz, cebolla, ajos, tomates, ají, etc.) para aumentar la productividad y homogenizar los tratamientos antes posibles plagas y combatir la salinidad (Red Muqui, 2011). Esto conlleva a la pérdida de capacidad del suelo de recuperación luego de cada cosecha, degradando los suelos y su producción. Al tener una pendiente llana, son altamente susceptibles a inundaciones por desborde del cauce del río y erosión del río. Especies nativas que se encuentran en esta zona son: “Chamico” (*Datura stramonium*), “Lenteja de agua” (*Lemna minuta*), “Helecho de agua” (*Azolla filiculoides*), “Caña común” (*Arundo donax*), “Palmera” (*Washintonia robusta*), “Noccho” (*Solanum nigra*), “Sauce” (*Salix chilensis*), “Cola de caballo” (*Equisetum giganteum*), etc. (MINAM, 2010)

4.2.7.4 Información preliminar sobre Suelos

El cartografiado de los grupos de suelos está basado directamente en el estudio de suelos “Inventario, Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Costa: Cuencas de los Ríos Quilca y Tambo” (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN), 1974) debido al contexto edafogénico de la zona (Zona de acumulación de depósitos fluviales y marinos, y a la poca profundidad de estos 50 -100 cm). (ONERN, 1974)

- La información del cartografiado de suelos está elaborada en una escala de 1:250 000, desarrollada por (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN), 1974).
- Se tomaron muestras a perfiles del suelo en las zonas del cauce del río y zonas de cultivos a modo experimental para determinar texturas y componentes in situ.

Grupos de suelos en el área de estudio

El mapa de grupos de suelos consta de 4 categorías basados en la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS Working Group WRB, 2015) (Figura 50):

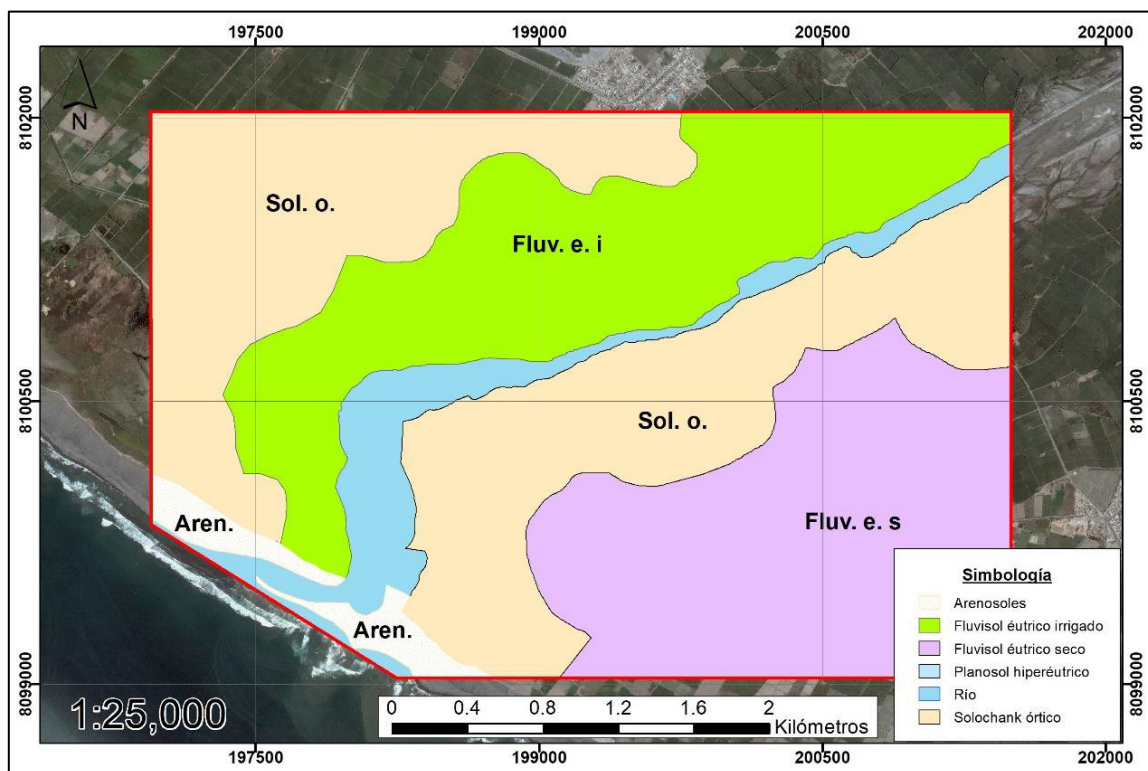


Figura 50: Mapa de suelos preliminar de la cuenca baja del río Tambo. Fuente: Modificado de (ONERN, 1974)

Fluvisol éutrico seco.

Son suelos de perfil edafológico (A)C o C, formados por los rellenos aluviales del Cuaternario generados por las corrientes de curso intermitente y quebradas secas que enmarcan la parte media o alta de los valles y parte de algunas pampas vecinas. El horizonte (A) es delgado y pálido (ótrico) y yace sobre una sección estratificada de texturas y espesores variables, predominando las fracciones gruesas, además de grava, guijarros y piedras.

Fluvisol éútrico irrigado

Son suelos que tienen una pendiente predominantemente llana a ondulada, y con perfil edafológico (A)C. Son de morfología estratificada y formados sobre depósitos de origen aluvial. El horizonte (A) grada a un material mineral de rasgos morfológicos no diferenciados. Gran parte de los suelos aquí incluidos corresponden a los suelos aluviales irrigados, captados a través de acequias desde el río Tambo.

Solochank órtico.

Son suelos de perfil AC o C, formados sobre depósitos de origen coluvio-aluvial y aluvial. Presentan un horizonte sálico dentro de los 100 cm. desde la superficie. La conductividad eléctrica tiene valores entre 16 y 199 mmhos/cm en algún subhorizonte dentro del perfil. Son de sustrato arenoso a franco arenoso, profundos, hasta 1.5m metros y ubicado en zonas de terrazas fluviales antiguas.

Arenosoles.

Son suelos de perfil edafológico AC, formados a partir de la acumulación de arenas por acción del mar entre el movimiento de las mareas. Presenta afloramientos de sal en la superficie y tienen una altura promedio de 50 a 80 cm en las partes cercanas al río Tambo, y una altura promedio de 80 a 2 metros en dirección ON a los humedales que se encuentran en todo el margen costero. No presentan resistencia a la infiltración del agua, saturando rápidamente a la napa freática en el caso de una inundación por parte del río cercano. Solo se encuentran herbáceas halófilas en la superficie.

4.2.7.5 Información preliminar sobre Hidrología

El estudio hidrológico de la cuenca del río Tambo abarca la totalidad de la cuenca que es aproximadamente de 13,361 km², de los cuales 8,149 km² se encuentran son la cuenca imbrífera o húmeda, considerándose el límite de 3000msnm. donde se considera que la precipitación pluvial es efectiva en aporte al escurrimiento superficial (ONERN, 1974)

Entre los límites de la cuenca del río Tambo tenemos que por el norte limita con las cuencas de los ríos Chili, Vitor, Quilca y Coata; por el sur limita con las cuencas de los ríos Moquegua y Locumba; por el oeste con el Océano Pacífico y por el Este limita con las cuencas de los ríos Ilave e Illpa.

Es considerado como un río torrencioso y de régimen irregular, donde sus descargas máximas se registran entre los meses de enero a marzo, siendo calculado para el periodo 1956-1999 en la estación La pascana que el volumen total anual generado es de 1,077 MMC equivalente a una descarga promedio anual de 31.457 m³/s. La cuenca cuenta con 08 estaciones pluviométricas a lo largo de toda la cuenca, de los cuales 08 tienen sus primeros registros desde 1965, y a la actualidad 05 están activas siendo registradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (MINAGRI, 2005) (Figura 51)

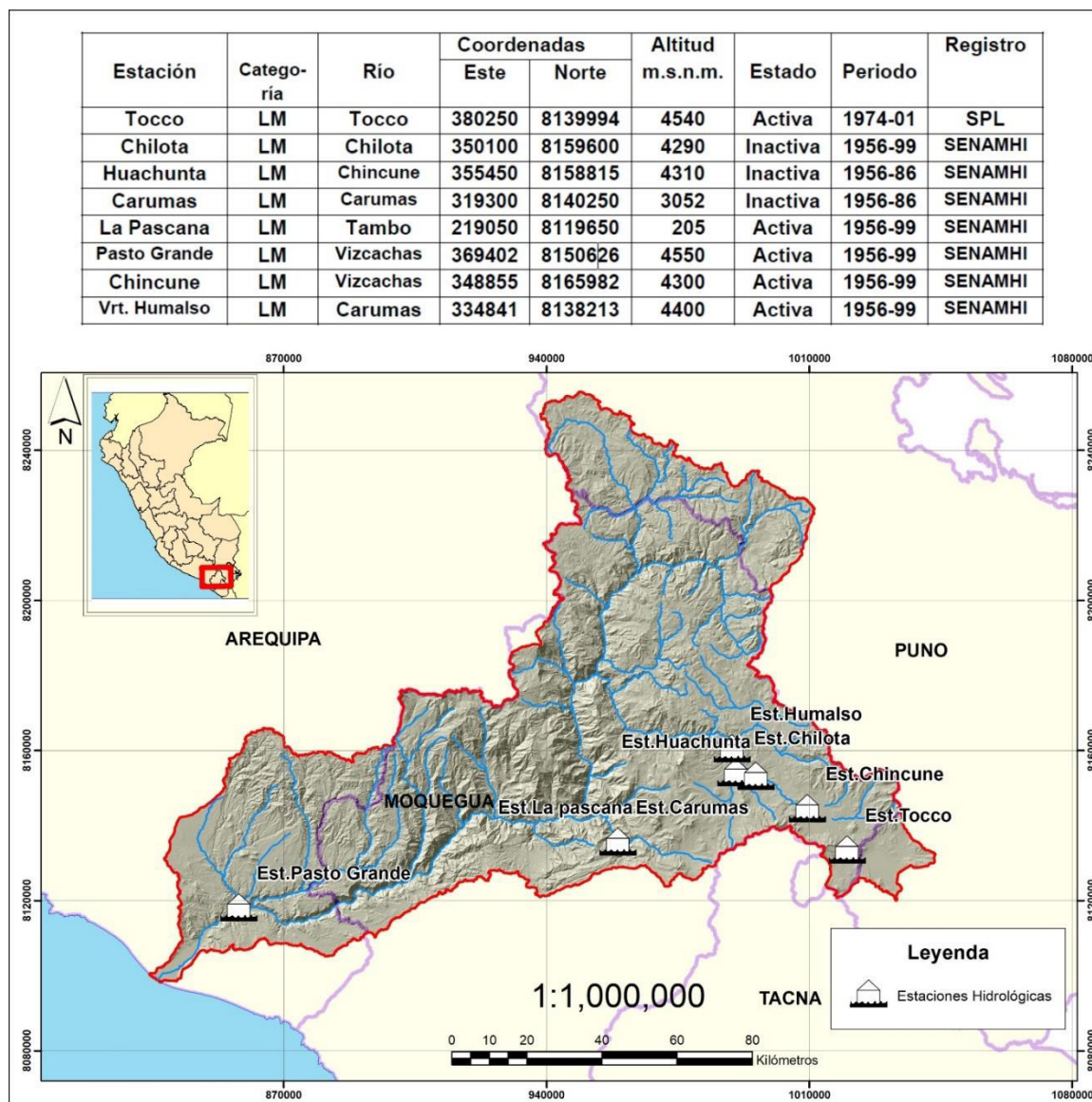


Figura 51. Estaciones hidrológicas en la cuenca del río Tambo.

Fuente: (MINAGRI, 2005)

Un análisis importante es el cálculo promedio de caudales en cada periodo del ciclo hidrológico del río Tambo. Estas cuantificaciones son históricas y corresponden al periodo 1965-1970, pero nos dan una muestra del comportamiento hidrológico antes de los proyectos Pasto Grande 1 -2. (Figura 52)

Descripción	Período de Avenidas		Período Transicional		Período de Estiaje		Período Transicional	
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
Fecha Promedio	20 Ene.	20 Mar.	20 Ago.	15 Dic.	20 Ene.			
Desviación Standard (días)	18.76	13.81	50.84	23.72	18.76			
Fecha anterior al 95%	20 Dic.	25 Feb.	29 May.	6 Nov.	20 Dic.			
Fecha posterior al 95%	20 Feb.	12 Abr.	11 Nov.	23 Ene.	20 Feb.			
Rango de variación (90%)	62 días	46 días	166 días	78 días	62 días			
Duración Media	2 meses		5 meses		4 meses		1 mes	
Volumen Descargado (%)	44		34		11		11	
Módulo (m ³ /seg.)	94.85		28.21		11.90		37.98	

Figura 52. Aproximación del ciclo hidrológico entre los años 1965-1970.

Fuente: (MINAGRI, 1972)

Posterioros estudios revelaron el incremento de los caudales del río Tambo. El Ministerio de Agricultura, en su informe sobre la disponibilidad hídrica del río Tambo, publica los siguientes datos:

“Los caudales máximos medios mensuales registrados, para el mismo periodo, son: enero 207 m³ /s, febrero 362 m³ /s, marzo 272 m³ /s y abril 118 m³ /s; y, los caudales mínimos mensuales son: septiembre 4.7 m³ /s, octubre 3.5 m³ /s, noviembre 3.5 m³ /s y diciembre 4.5 m³ /s. Cabe anotar que, el caudal máximo anual diario registrado se produjo en marzo de 2002 y correspondió a 620 m³ /s.”

(MINAGRI, 2005)

Proyecto Pasto Grande – Cuenca alta río Tambo

El proyecto especial Pasto Grande es un proyecto de irrigación y represamiento que se ubica en las cuencas altas de los ríos Moquegua y Tambo y tiene como principales beneficiarios a las actividades económicas locales y asegurar su producción nacional. Sin embargo, cuando existen cambios abruptos en el régimen hidrológico, no se satisface el total de agua requerida para la producción del valle en su totalidad y la poca agua que

mantienen en las represas no son desfogadas al río principal, afectando principalmente el caudal del río Tambo y a los cultivos en las épocas de siembra.

Creado el 18 de noviembre de 1987 con el Decreto Supremo N°024-87-MIPRE, este proyecto se ha visto envuelto en una serie de irregularidades, problemas limítrofes y sanciones económicas por parte del estado al limitar el acceso a los recursos hídricos a diferentes juntas de regantes, en especial la del río Tambo, afectando la economía del valle en su conjunto. (Red Muqui, 2011)

4.2.7.6 Cuadro resumen de Información preliminar

Debido a la variada información que se obtuvo en la recopilación preliminar, se ha decidido realizar un cuadro resumen que contenga todas las variables a evaluar, donde se indique la escala de la información, la cartografía disponible y las unidades a describir en la investigación. (Figura 53)

Información cartográfica de gabinete					
Herramientas	Geología	Geomorfología	Vegetación	Suelos	Hidrología
Cartografía disponible	Carta geológica 35 -S Punta de Bombón y Cemesí	Carta geológica 35 -S Punta de Bombón y Cemesí	Plan Maestro SNLM 2015 - 2019	Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la Costa. Cuenca río Quilca y Tambo	Evaluación de los recursos de agua superficial y condiciones climáticas. Valle del río Tambo
Sensores remotos	- Imagen satelital World View 2 año 2010, 2014 – - Imagen satelital Pléiades año 2016. Escala 1:25 000				
Unidades de trabajo	Depósitos marinos. Depósitos fluviales. Depósitos aluviales	Terrazas fluviales. Terrazas marinas. Playas. Albuferas	Matorrales. Juncales y matorrales. Monte ribereño. Pastizales salinos. Campos de cultivo.	Fluvisol éutrico seco. Fluvisol éutrico irrigado. Solochank órtico. Arenosoles	Caudales máximos
Fuente de información	Carta geológica 35 -S Punta de Bombón y Cemesí	Elaboración propia	Plan Maestro SNLM 2015 - 2019	Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la Costa. Cuenca río Quilca y Tambo	Evaluación de los recursos de agua superficial y condiciones climáticas. Valle del río Tambo

Figura 53. Cuadro resume de la información cartográfica disponible. Fuente: Elaboración propia.

4.2.7. Escalas de trabajo

La elección de una escala de trabajo es el resultado del análisis de la información preliminar que se tiene y el área total que enmarcará la investigación. Es decir, el detalle cartográfico con el que se maneja la información preliminar condiciona a la elección de la escala de información que se utilizará para responder a los objetivos planteados en la investigación.

El siguiente cuadro ayuda a entender la relación entre las unidades de medición en el mapa con la respectiva representación en la escala numérica (Figura 54)

Escala del mapa o fotograma	1: 5 000	1: 10 000	1: 20 000	1: 25000	1: 50 000	1: 100 000
Longitud en m representada por 1 mm en el mapa	5.0	10.0	20.0	25.0	50.0	100.0
Longitud en km representada por 1 mm en el mapa	0.050	0.100	0.200	0.250	0.500	1.000
Longitud en cm que equivale a 1km	20.0	10.0	5.0	4.0	2.0	1.0
Superficie en km ² representada por 1 cm ² en el mapa	0.0025	0.01	0.04	0.0625	0.25	1.00

Figura 54. Cuadro donde se presentan las escalas con sus magnitudes reales. Fuente: Modificado de (Ministerio del ambiente – Gobierno de España 2004)

Uno de los variables más importantes en la elección de la escala de trabajo es la geomorfología, pues su elección condiciona directamente con el estudio de las geoformas existentes en el medio físico. Mientras mayor sea el nivel del estudio, mayor será la complejidad de las geoformas a investigar y la escala cartográfica a escoger será una escala grande o detallada. (PER IMA, 2012) (Figura 55.)

NIVEL DE ESTUDIO DEL RELIEVE	CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN	ESCALAS CARTOGRÁFICAS
Mega-geomorfología	Grandes morfoestructuras. Ejemplo: Cordillera Occidental.	1: 1 000 000 a menores
Macro-geomorfología	Formas del relieve Ejemplo: Montañoso	1: 500 000 1: 250 000
Meso-geomorfología	Forma del relieve + Litología + Morfogénesis Ejemplo: Montañoso de roca volcánica muy fracturada con cárcavas.	1: 100 000 1: 50 000
Micro-geomorfología	Micro-formas del relieve + Litología + Morfogénesis + Formaciones superficiales Ejemplo: Montañoso de roca volcánica muy fracturada con cárcavas y conos de derrubios.	1: 25 000 1: 10 000 1: 5 000 a mayores

Figura 55. Cuadro donde se presentan el nivel de los estudios del relieve y sus escalas de trabajo correspondientes. Fuente: (Meléndez & Pérez, 2011)

Considerando que las dinámicas fluviales y los peligros ambientales asociados se presentan en una escala local; que la información cartográfica preliminar nos da muestra de estudios regionales y locales, se presenta el siguiente cuadro donde se detalla el nivel de escala de trabajo en el análisis de cada variable. (Figura 56)

Variables ambientales	Escala de información	Escala de trabajo	Formato de impresión
Geomorfología	1:50 000	1: 25 000	A4
Geología	1:100 000	1: 25 000	A4
Vegetación	1:50 000	1: 25 000	A4
Suelos	1:250 000	1: 25 000	A4
Hidrología	1:100 000	1: 25 000	A4

Figura 56. Cuadro resumen de las escalas de trabajo para cada variable ambiental. Fuente: Elaboración propia.

4.3 Trabajo de campo

La etapa de trabajo de campo consiste en realizar una o varias visitas al área de estudio con el fin de contrastar la información obtenida en gabinete, generar nueva información a través de técnicas de levantamiento de datos acerca de las variables seleccionadas y comprender de forma directa la problemática planteada en la temática de investigación. (Ministerio de Medio Ambiente - España, 2004)

Para la presente investigación, se ha desarrollado un plan de trabajo para realizar comprobaciones de campo sobre las variables planteadas, así como también validar o actualizar los mapas que se generaron en la etapa preliminar.

4.3.1 Esquema de trabajo de campo

La presente investigación se planteó la planificación de una salida de campo de dos días hacia el área de estudio para obtener la información de primer nivel para lograr la validación de los modelos de peligro que se plantearon. Para ello, se desarrolló el siguiente esquema (Figura 57).

Esquema de trabajo de campo: Estudio de peligros ambientales por dinámicas fluviales en la cuenca del río Tambo		
N° de días	02	
Traslados	Aéreos	Lima - Arequipa
	Terrestre	Arequipa - Dean Valdivia
	Terrestre	Dean Valdivia - Arequipa
	Aéreos	Arequipa - Lima
Itinerario de trabajo	Primer día	
	Llegada a la ciudad de Arequipa, Embarque directo al área de estudio.	
	En el área de estudio, registrarse con las autoridades locales de ser el caso.	
	Iniciar el recorrido desde la Carretera PN. Sur hasta la margen derecha de la desembocadura del río Tambo	
	Iniciar levantamiento de puntos de control de la margen derecha del río Tambo	
	Llenado de matrices de información de campo y toma de las fotografías correspondientes	
	Regreso a la PN. Norte con dirección al centro poblado La curva, Dean Valdivia, para pernoctar	
	Segundo día	
	Alistar los materiales para campo y dirigirse a la carretera PN. Sur para ir al área de estudio.	
	Iniciar el recorrido hacia la margen izquierda del río Tambo.	
	Toma de puntos GPS, corrección in situ de la cartografía preliminar de gabinete	
	Llenado de matrices de información de campo	
	Regreso a Dean Valdivia	
	Regreso a Arequipa, luego dirección a Lima	

Figura 57: Esquema general del trabajo de campo. Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Instrumentos para el trabajo de campo

El trabajo de campo requiere una serie de instrumentos de fácil manejo para poder lograr tener efectividad durante el levantamiento de información, es por ello, que se expone los instrumentos que son útiles y recomendados en el trabajo de campo.

4.3.2.1 Herramientas tecnológicas

Actualmente, el uso de herramientas tecnológicas para los trabajos de campo es un requerimiento para el desarrollo de un buen trabajo de campo. Para esta investigación, se presenta en la lista las herramientas que se utilizaron en el trabajo de campo.

Equipos	Uso
GPS Navegador	Toma de puntos de control para registrar información en las matrices de campo o como registro de evento importante.
Cámara fotográfica	La toma de fotografías es la evidencia gráfica de la realidad del área de estudio. Acompaña a las matrices de campo en el levantamiento de información.
Videocámara	Adicional a la fotografía, la toma de video en el área de estudio ayuda a contextualizar la información y a recordar eventos importantes.
Teléfono móvil	Se puede usar como registro auxiliar de información, ya sea con su cámara o con la facilidad de escribir notas rápidas.

Figura 58. Cuadro de equipos utilizados para el trabajo de campo. Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.1 Herramientas variadas

Las herramientas variadas son todas aquellas que sirven para complementar el trabajo de campo, haciéndolo más sencillo y permitiendo trabajar de manera eficiente. En el listado siguiente se indica las herramientas utilizadas.

- *Libreta de campo*, como medio de almacenamiento de información secundaria, por si las herramientas tecnológicas fallan.
- *Útiles de escritorio*, necesarios para los apuntes en las matrices de campo.
- *Tablero de trabajo*, como soporte al realizar anotaciones.
- *Mochila de campo*, ligera y con múltiples accesorios para guardar herramientas.
- *Botiquín pequeño*, por si ocurriera algún accidente o se presentara malestar.

- *Escalímetro pequeño*, para tomar fotos con escala referencial o ubicar puntos en la cartografía base.

4.3.3 Matriz de levantamiento de información

Para registrar o actualizar información sobre las variables ambientales en el campo, es importante el uso de una matriz de campo, para lograr optimizar el trabajo de campo y no tener apuntes desordenados que puedan llevar a la pérdida de información. Para ello se utilizó la siguiente matriz en el campo (Figura 59)

Matriz de campo									
N°	Coordenadas WGS84		Variables ambientales				Nueva información		
	Oeste	Norte	Geología	Geomorfología	Vegetación	Suelo	Grado de peligro	Fotografía	Comentarios
1	197282	8100552	Depósitos aluviales	Terrazas fluviales	Grama salada / Monte ribereño	Arenosol	Alto	007-013	Animales salvajes
2	197312	8100354	Depósitos marinos	Terrazas fluviales	Sin vegetación	Arenas	Alto	014-018	Cauce antiguo
3									
4									

Figura 59. Matriz utilizada en campo para levantamiento de información. Fuente: Elaboración propia

4.3.4 Cartografía base para el trabajo de campo

El trabajo de campo requiere la elaboración de cartografía base donde se puedan hacer anotaciones o indicar procesos nuevos que no fueron detallados en la información de gabinete. Por ello, fue necesario de elaborar nueva cartografía para plasmar puntos de interés que debían ser revisados en campo, utilizando las herramientas antes descritas. (Figura 60)

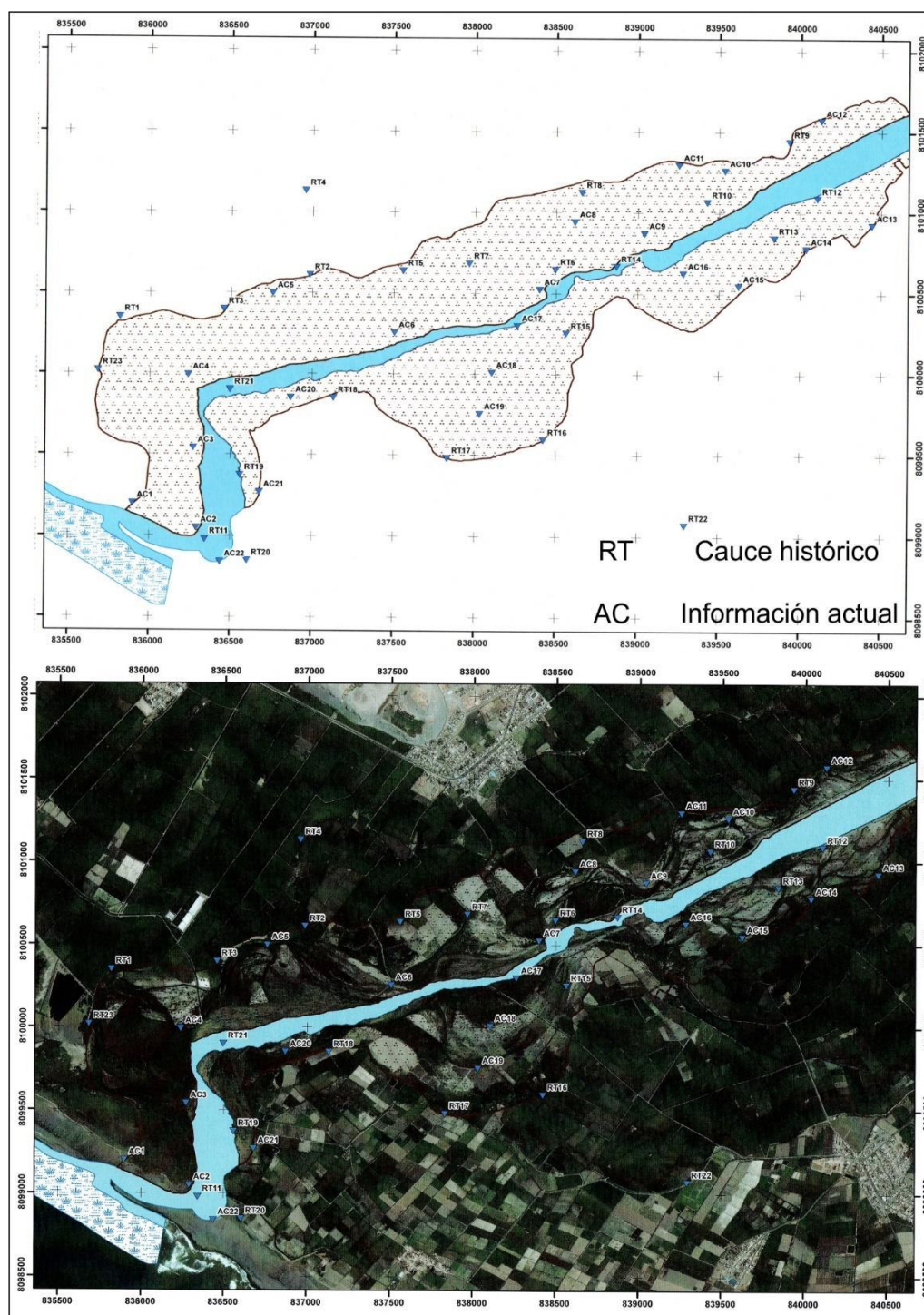


Figura 60. Mapas base elaborados para el registro de puntos de control y levantamiento de información. Fuente: Elaboración propia.

El mapa base también ayudo a la comparación de cauces cartografiados con los actuales, donde no se tenía información por la falta de imágenes satelitales. Esta información fue importante para la descripción de las dinámicas fluviales que tiene el río Tambo. (Figura 61)

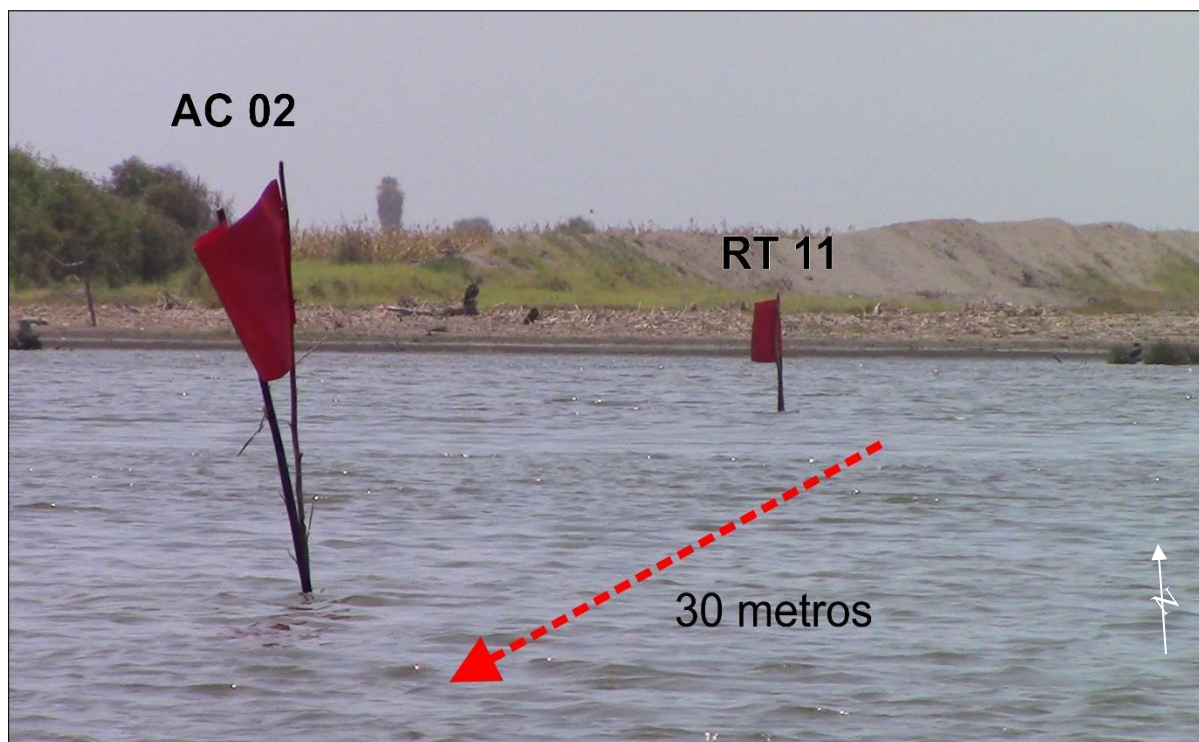


Figura 61: Desplazamiento del cauce antiguo, designado (RT 11) en 30 metros dirección Sureste, donde se levantó el punto (AC02). Fuente: Elaboración propia

4.4 Trabajo de Postcampo o Laboratorio

La etapa de laboratorio o Postcampo comprende el desarrollo de la problemática de investigación, el análisis de la interacción de todas las variables en el campo, la generación de nueva información a partir de los datos obtenidos (Ministerio de Medio Ambiente - España, 2004), y el desarrollo de la metodología para la generación de zonas de peligros ambientales.

4.4.1 Actualización de información de Variables Ambientales

Luego de la etapa de campo, la actualización de la información de las variables ambientales abarcadas en la investigación se realizó con la cartografía genera hasta el año 2016. Todas las variables ambientales fueron generadas siguiendo la misma escala establecida (1: 25 000) para garantizar la homogeneidad de la información.

4.4.1.1 Variable Geología

La actualización de la variable **geología** consistió en la inclusión de los nuevos límites del cauce del río para el año 2016. Asimismo, el cauce anterior fue integrado a cada una de las unidades correspondientes, utilizando la matriz de información que se levantó en campo generando una nueva cartografía actualizada y validada. (Figura 62).

Es preciso resaltar, que se realizó un corte de perfil geológico, con fines metodológicos para entender la distribución de los depósitos en el área de estudio.

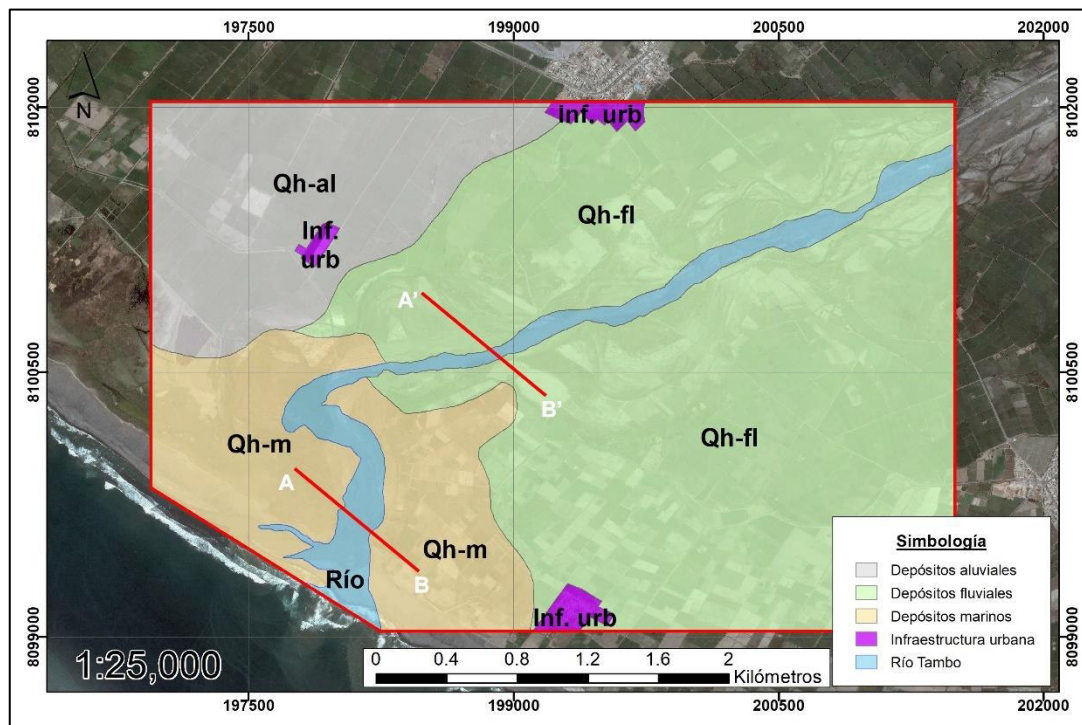


Figura 62. Mapa geológico actualizado del área de estudio. Fuente: Elaboración Propia

Cada uno de los perfiles muestra un aproximado de la composición geológica del área de estudio, indicándonos las variaciones desde cada uno de los depósitos representativos del área. La medición de altitud se realizó con GPS navegador, ya que no se contaba con herramientas más sofisticadas para dar mayor exactitud. (Figura 63 y 64).

En el perfil A'-B', se observa como los depósitos antiguos tienen una mayor altitud con respecto a los depósitos marinos, indicándonos que el relieve tiene elevaciones muy poco perceptibles incluso en zonas cercanas a los cultivos.

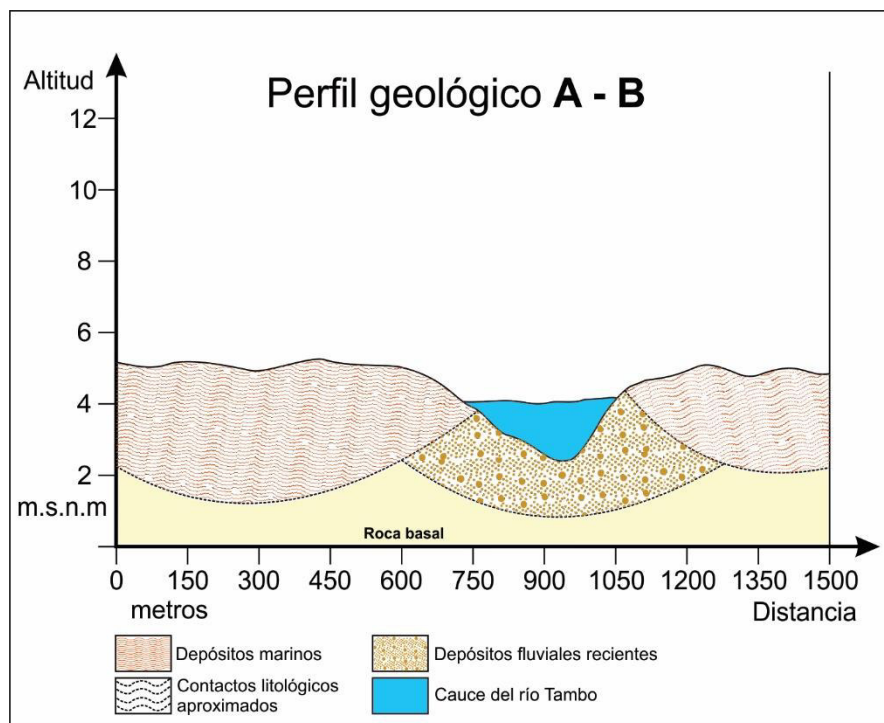


Figura 63. Corte geológico A - B de la cuenca baja del río Tambo. Fuente: Elaboración propia.

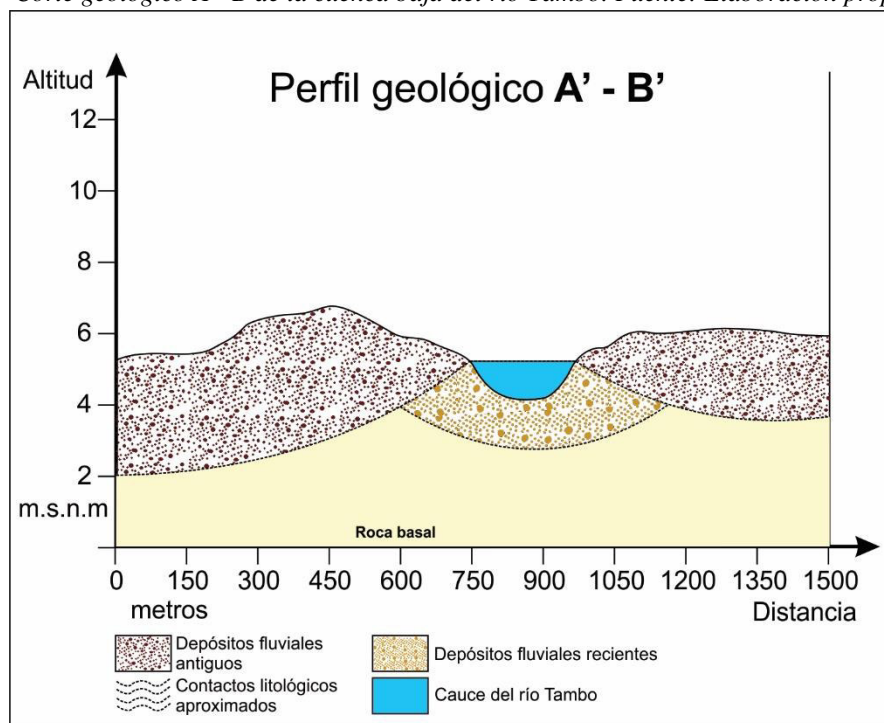


Figura 64. Corte geológico A' - B' de la cuenca baja del río Tambo. Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.2 Variable Geomorfología

La actualización de la variable **geomorfología** consistió en la inclusión de los nuevos límites del cauce del río para el año 2016. Asimismo, el cauce anterior fue integrado a cada una de las unidades correspondientes, utilizando la matriz de información que se levantó en campo generando una nueva cartografía actualizada y validada. (Figura 65).

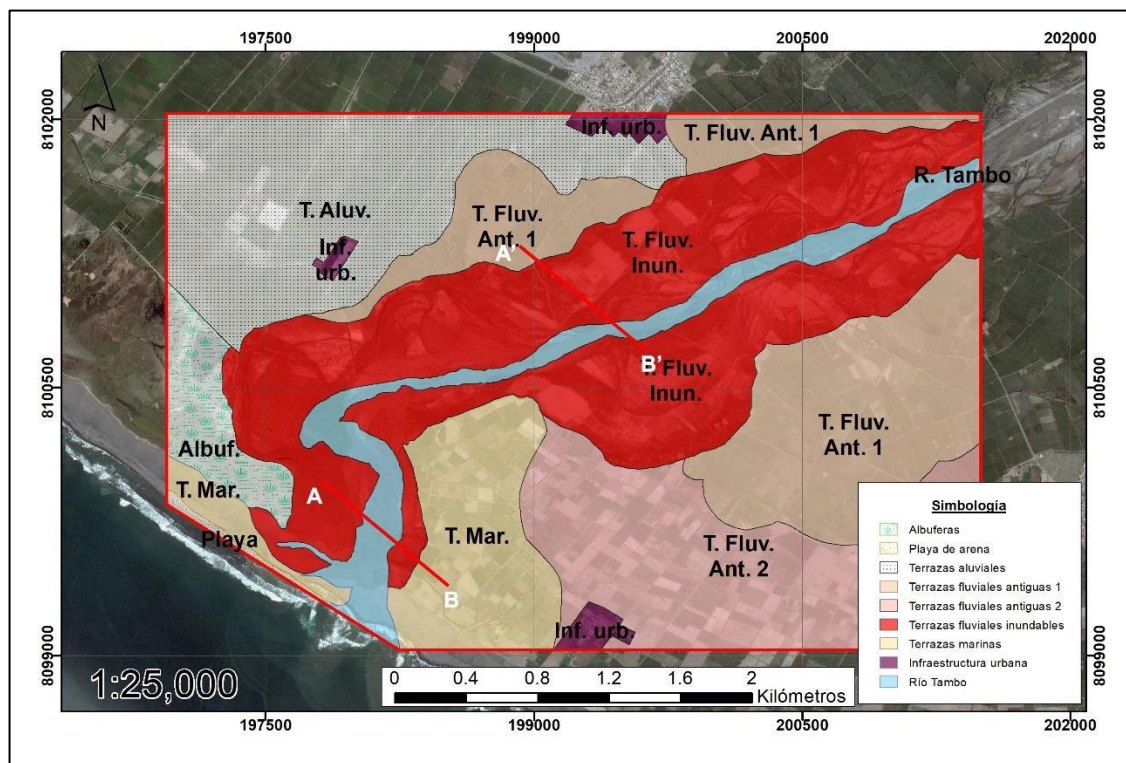


Figura 65. Mapa geomorfológico actualizado del área de estudio. Fuente: Elaboración Propia

Cada uno de los perfiles geomorfológicos muestra un aproximado de la composición del relieve del área de estudio, indicándonos las variaciones desde las grandes terrazas que se han identificado en el área. La medición de altitud se realizó con GPS navegador, ya que no se contaba con herramientas más sofisticadas para dar mayor exactitud. (Figura 66).

En el perfil A-B, se observa un relieve llano, sin mucha variación de relieve, lo que nos indica que las terrazas fluviales no tienen mucho aporte de sedimentos, posiblemente relieves jóvenes en la escala geológica; siendo todo lo contrario en el perfil A' – B', donde las variaciones sí son acentuadas, incluso precedida de otra unidad más antigua y erosionada. (Figura 67).

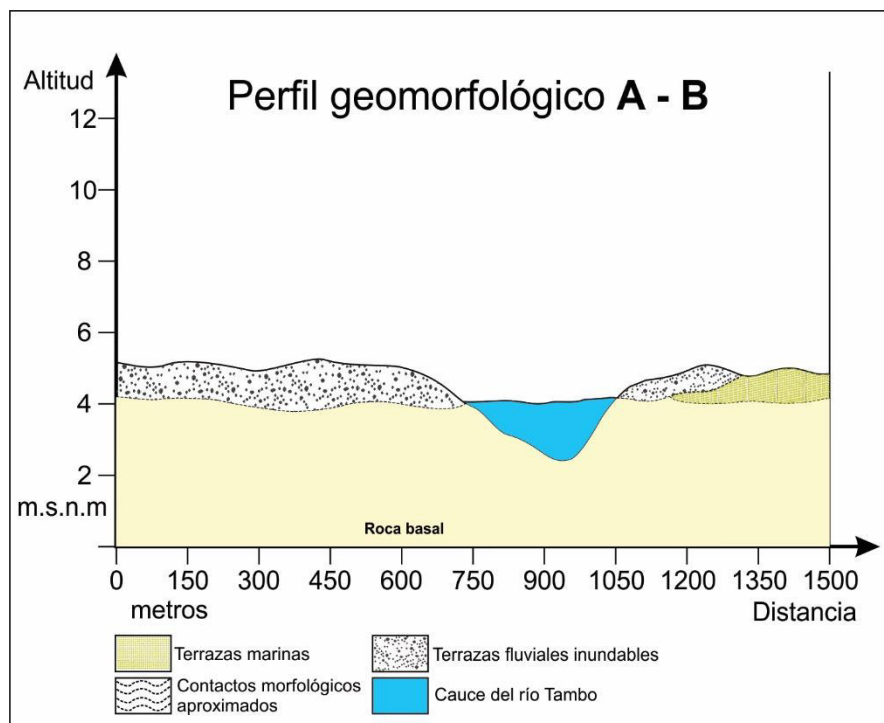


Figura 66. Corte geomorfológico A' - B' de la cuenca baja del río Tambo. Fuente: Elaboración propia.

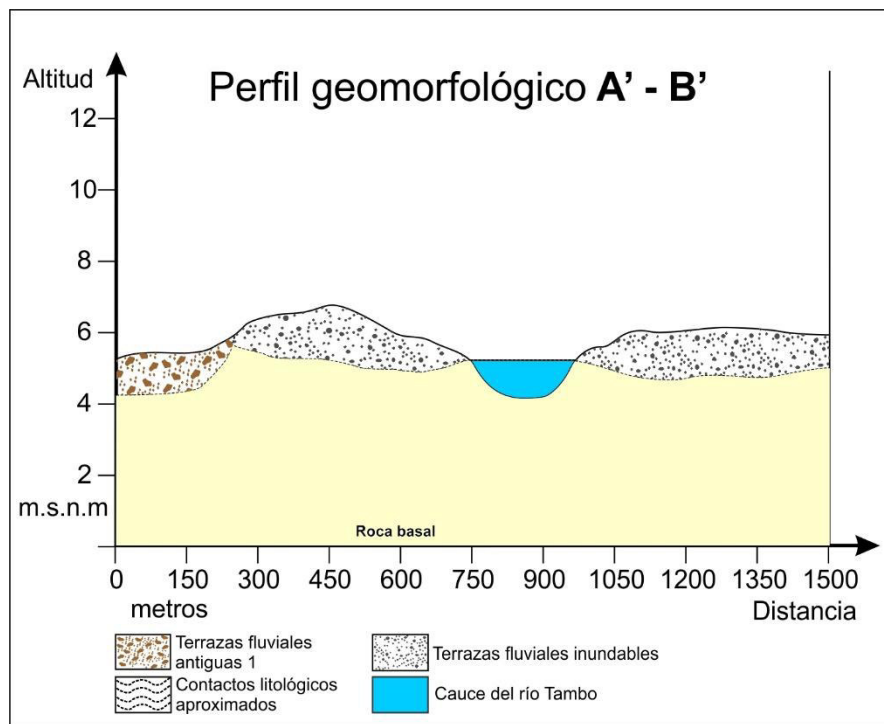


Figura 67. Corte geomorfológico A' - B' de la cuenca baja del río Tambo. Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.3 Variable Vegetación

La actualización de la variable **vegetación** consistió en la inclusión de los nuevos límites del cauce del río para el año 2016. Asimismo, el cauce anterior fue integrado a cada una de las unidades correspondientes, utilizando la matriz de información que se levantó en campo generando una nueva cartografía actualizada. En esta variable, los cambios fueron ayudados directamente con la imagen satelital, donde se identificaron patrones de vegetación para poder validar los cambios. (Figura 65).

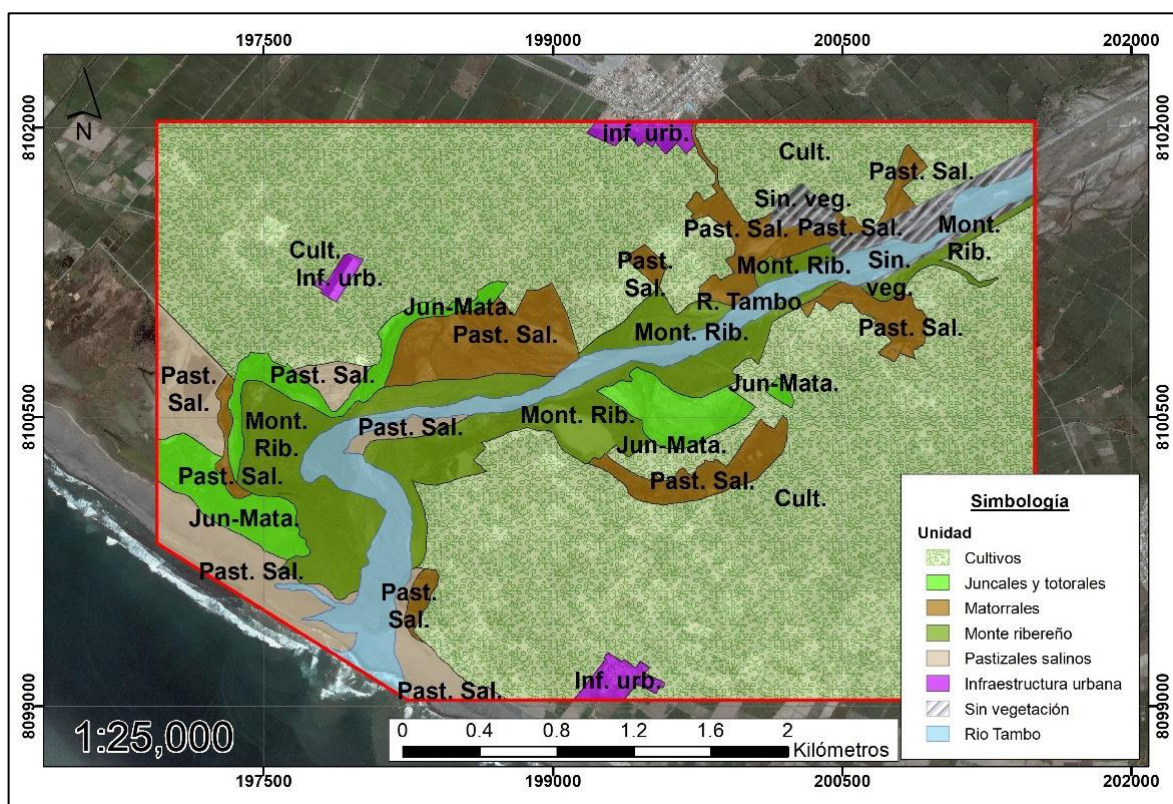


Figura 68. Mapa de vegetación actualizado del área de estudio. Fuente: Elaboración Propia

4.4.1.4 Variable Suelos

La actualización de la variable **suelos** consistió en la inclusión de los nuevos límites del cauce del río para el año 2016. Asimismo, el cauce anterior fue integrado a cada una de las unidades correspondientes, utilizando la matriz de información que se levantó en campo generando una nueva cartografía actualizada y validada. (Figura 69).

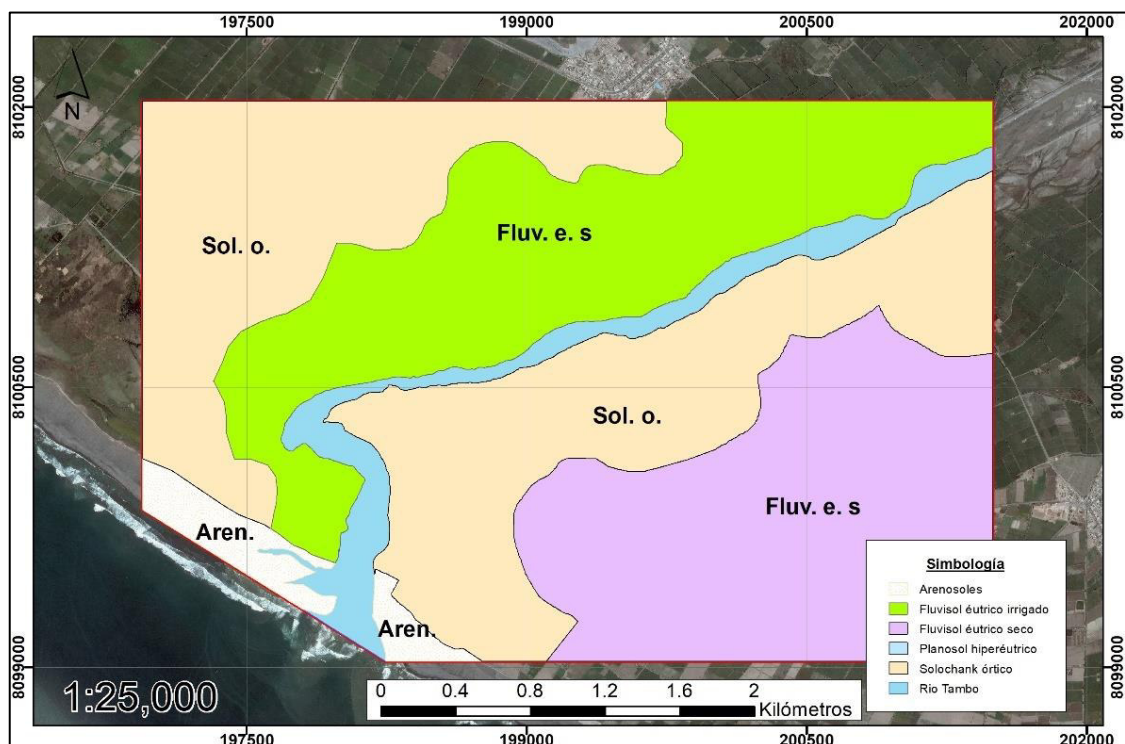


Figura 69. Mapa de suelos actualizado del área de estudio. Fuente: Elaboración Propia

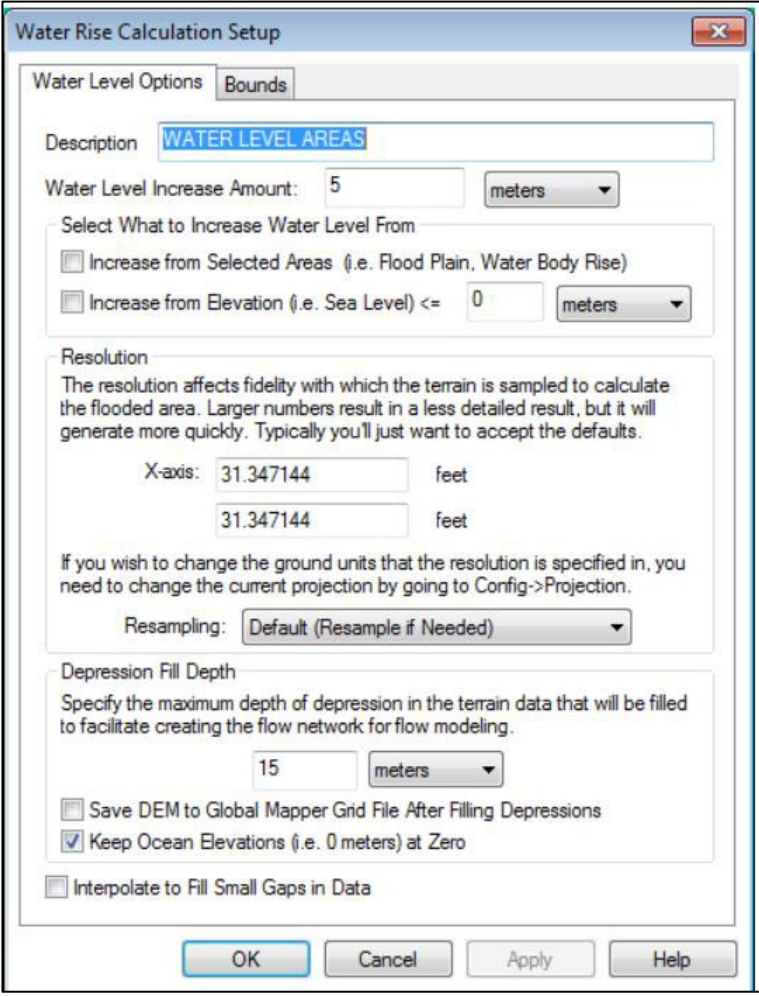
Para el modelo de inundación, se ha integrado un Modelo de Elevación Digital (DEM), de 30 metros de resolución de base y otro de 12 metros de resolución detallado a las zonas cercanas al cauce, debido a la no disponibilidad de datos de alta precisión.

Uno de los estudios sobre el caudal del río Tambo indica las máximas avenidas calculadas a partir de las medias anuales del río Tambo. (Figura 71 y 72)

Máximas avenidas probables del Río Tambo	
Estación Aforos de Chucarapi	
Periodo de retorno (años)	Máximas avenidas probables (m ³ / s.)
100	1400
50	1180
20	880
10	690
5	510

Figura 71. Máximas avenidas calculadas para la estación Chucarapi en la cuenca media del río Tambo.

Fuente: (ONERN, 1974)



Water Rise Calculation Setup

Water Level Options **Bounds**

Description: **WATER LEVEL AREAS**

Water Level Increase Amount: 5 meters

Select What to Increase Water Level From

☐ Increase from Selected Areas (i.e. Flood Plain, Water Body Rise)

☐ Increase from Elevation (i.e. Sea Level) <= 0 meters

Resolution

The resolution affects fidelity with which the terrain is sampled to calculate the flooded area. Larger numbers result in a less detailed result, but it will generate more quickly. Typically you'll just want to accept the defaults.

X-axis: 31.347144 feet

31.347144 feet

If you wish to change the ground units that the resolution is specified in, you need to change the current projection by going to Config->Projection.

Resampling: Default (Resample if Needed)

Depression Fill Depth

Specify the maximum depth of depression in the terrain data that will be filled to facilitate creating the flow network for flow modeling.

15 meters

☐ Save DEM to Global Mapper Grid File After Filling Depressions

☒ Keep Ocean Elevations (i.e. 0 meters) at Zero

☐ Interpolate to Fill Small Gaps in Data

OK Cancel Apply Help

Figura 72. Funcionamiento del algoritmo del software utilizado. Las áreas que se inundaran tienen una altura establecida, mientras que las que superan ese dejan de inundarse, buscando otra celda cercana con menor valor.

Fuente: Elaboración propia

Resultado

El mapa final del modelo de inundación muestra los tiempos de retorno incluidos en el cálculo del software: Tiempo de retorno 5 años, y 10 años. La diferencia entre ambos tiempos de retorno es la probabilidad con la que pueda ocurrir el evento próximamente. Siempre se espera que un tiempo de retorno mayor sea un evento de grandes proporciones, por lo que tiene una probabilidad media de presentarse en la realidad. (Figura 73)

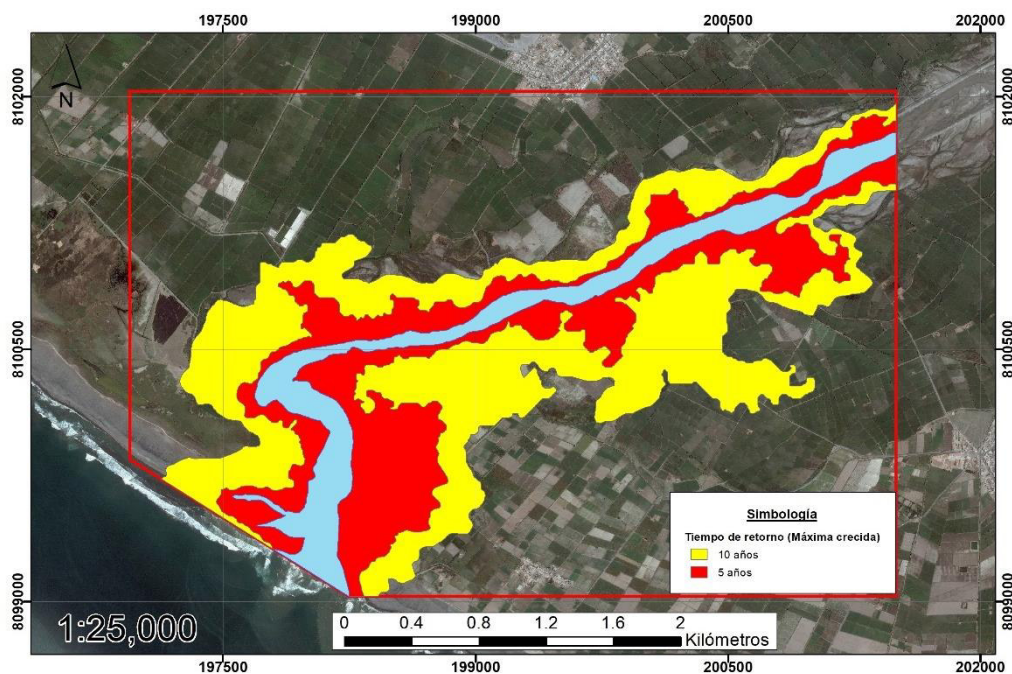


Figura 73. Resultado de la simulación hidrológica topográfica. Fuente Elaboración propia

4.4.3 Generación del Modelo de Peligros Ambientales por Dinámicas Fluviales

La generación de un mapa de peligros por una determinada dinámica o actividad pasa por la identificación de dos componentes esenciales en el medio físico: Los componentes susceptibles, y el componente detonante. (Valderrama, et. al., 2007)

La comprensión de estos dos componentes en los estudios del medio físico es clave para el análisis de los resultados del modelado de peligros.

4.4.3.1 Generación del Modelo de Susceptibilidad Ambiental

La realización de un mapa de susceptibilidad ambiental no es más que la evaluación de las variables ambientales que influyen directamente en las dinámicas del medio físico. En la presente investigación se utilizará las variables directamente modifican o son afectadas por las dinámicas fluviales del río Tambo. Para su evaluación se aplicó la metodología conocida como “Evaluación multicriterio (EMC)” (Rahman, 2007). Esta metodología explica que se puede realizar un algoritmo exclusivo para información ráster donde los valores digitales de cada pixel son operados en una matriz matemática y obtener el producto entre cada ráster su valor de influencia en la creación de un mapa final que refleje toda la información trabajada. (Ranya F., 2015)

Para este caso de aplicación, cada una de las capas geográficas previamente trabajadas y normalizadas, tendrán un rango asignado para su posterior trabajo en la superposición de capas. Dicho rango estará en una escala de 1 a 4, cualitativamente siendo: Muy alto, Alto, Medio, Bajo.

Las variables que participarán en la generación del modelo de susceptibilidad serán la **geología**, la **geomorfología** y la **vegetación**; la variable suelos no participará dentro del cálculo del modelo por dos razones:

- La escala de información de la variable suelo (1:250 000) es muy general, siendo compatible con las otras variables detalladas (1:50 000).
- Los componentes de las unidades del suelo en cuestión (arenas, arcillas, limo) están consideradas en las unidades geológicas, como parte de su estructura litológica, porque habría una ligera redundancia en los datos.

Geología.

La capa de geología tiene cuatro elementos en la zona de estudio, dentro de los cuales se han clasificado de la siguiente manera (Tabla 08)

Tabla 08. Clasificación de los atributos de la capa de Geología. Fuente: Elaboración Propia.

GEOLOGÍA		
Símbolo	Descripción	Rango
Qh-m	Depósitos marinos	4
Qh-fl	Dep. fluviales - Gravas y arenas en matriz limoarenosa, incluye conos aluviales.	3
Qh-al	Depósitos aluviales - Gravas y arenas mal seleccionados en matriz, limoarenosa.	1
Río	Río Tambo	0

Los criterios seguidos para su clasificación fue su proximidad con el cauce del río y su estructura litológica, colocando en mayor rango los que tienen mayor probabilidad de ser afectados y en menor rango los que son más estables tras un evento de inundación. La capa final tiene una influencia del **20%** para el mapa de peligros final.

Vegetación.

La capa de vegetación tiene seis elementos los cuales fueron clasificados de la siguiente manera (Tabla 09)

Tabla 09. Clasificación de los atributos de la capa de Vegetación. Fuente: Elaboración propia

VEGETACIÓN		
Símbolo	Nombre	Rango
Sin Veg.	Sin Vegetación	4
Past. Sal.	Pastizales salinos	4
Jun - Mata	Juncales y matarales	4
Mont. Rib.	Monte ribereño	3
Cult	Cultivos	3
Mat	Matorrales	2
Rio	Río Tambo	0

Debido a que el cartografiado de la vegetación se hizo a una escala detallada y con trabajo de campo como método de validación, los criterios aplicados fueron más minuciosos. El principal criterio para su clasificación fue el comportamiento de cada tipo de vegetación ante un evento de inundación, considerando el sustrato donde se encontraban, la densidad de la vegetación, la altura, la diversidad de especies y en algunos casos la aproximación del nivel de la napa freática para verificar su saturación. Su influencia en el mapa es de **30%**

Geomorfología.

Una de las capas más importantes, pues ha sido construida a detalle y verificada en campo evaluando su morfología, pendiente promedio, alturas máximas, y potencia de suelos en algunos casos. Consta de 08 unidades que son clasificadas de la siguiente manera (Tabla 10):

Tabla 10. Clasificación de los atributos de la capa de Geomorfología. Fuente: Elaboración Propia.

GEOMORFOLOGÍA		
Símbolo	Forma de relieve	Rango
T. Fluv. Inun.	Terrazas fluviales inundables	4
Play.	Playa de arena	4
Alb.	Albuferas	3
T. Fluv. Ant. 1	Terrazas fluviales antiguas 1	2
T. Fluv. Ant. 2	Terrazas fluviales antiguas 2	1
T. Aluv.	Terrazas aluviales	1
Infra. Urb.	Infraestructura urbana	0
Río	Río Tambo	0

Debido a fue evaluada en campo, esta capa tiene mayor valor sobre las otras, otorgándosele una influencia de **50%** del resultado final, siendo la capa con mayor porcentaje debido a su información detallada.

Para la realización del modelo de susceptibilidad ambiental es necesario ponderar todas las variables bajo unos algoritmos matemáticos que puedan dar un mapa con valores que se puedan interpretar cualitativamente. La evaluación de pesos ponderados es una técnica común cuando se realizan evaluaciones multicriterio, pues permite trabajar directamente a los valores digitales de cada pixel que compone las capas de ingreso. (Basharat, Shah, & Hameed, 2016) Para ello, cada una de las variables ingresará a algoritmo y se les indicará su influencia en em mapa resultante. (Figura 74)

Weighted overlay table

Raster	% Influence	Field	Scale Value
⤴ Mod_geolog_2016	20	Value	↶
		0	1
		1	1
		3	3
		4	4
		NODATA	NODATA
⤴ Mod_vegeta_2016	30	Value	↶
		0	1
		2	2
		3	3
		4	4
		NODATA	NODATA
⤴ Mod_geomorfo_20	50	Value	↶
		0	1
		1	1
		2	2
		3	3
		4	4

Sum of influence: 100

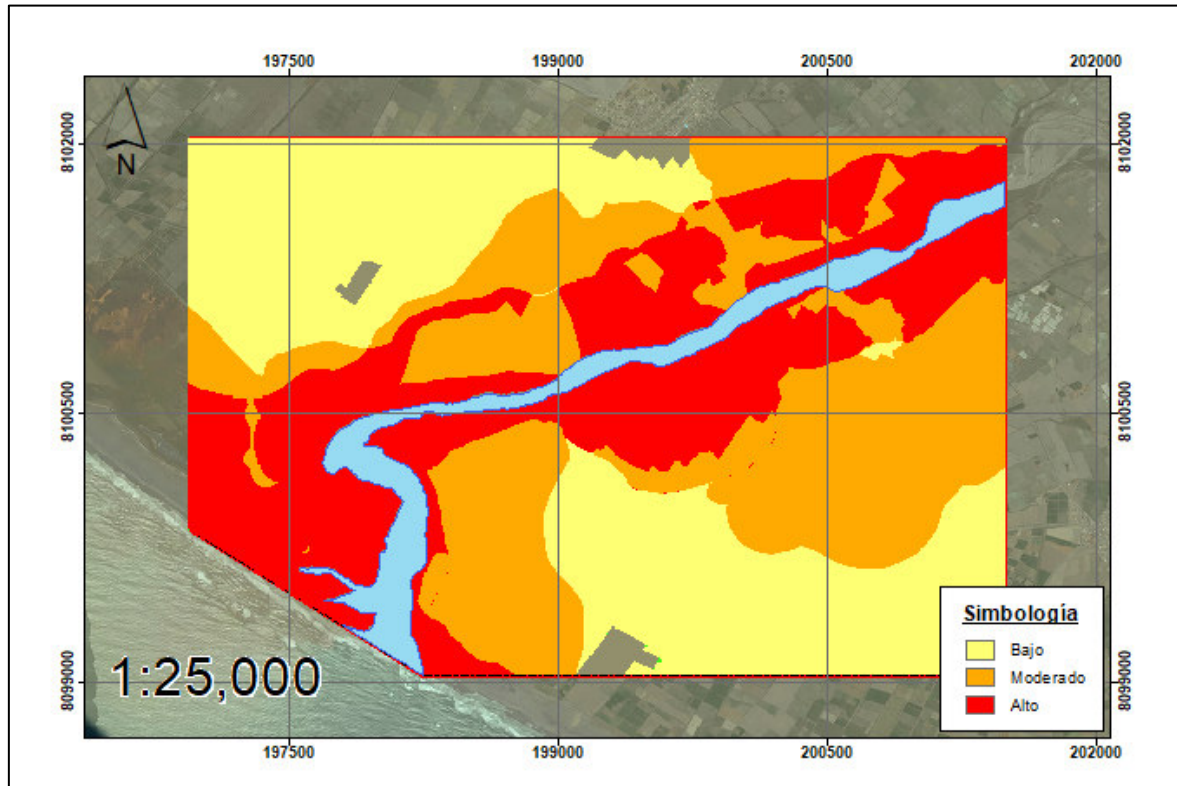
Set Equal Influence

Evaluation scale: 1 to 9 by 1

From: To: By:

Figura 74. Capas de información en la herramienta Evaluación ponderada. Fuente: Elaboración propia

El resultado final es un archivo ráster, donde se encuentra almacenado la información de todas las capas de información anteriormente trabajadas. Se le asignan colores y una leyenda para representarlas en un mapa final. Se resalta que el mapa final no muestra un rango “Muy bajo” porque las características físicas eran iguales a las del rango “Bajo”, solo variaban en pocos metros a la distancia con el cauce del Río Tambo, por lo que se agruparon al rango “Bajo”. (Figura 75)



*Figura 75. Mapa de susceptibilidad ambiental con las variables analizadas.
Fuente Elaboración propia.*

4.4.3.2 Generación del Modelo Final de Peligros Ambientales

Cuando se tienen los resultados del mapa de susceptibilidad ambiental y la simulación hidrológica topográfica, se puede proceder al cómputo del proceso del mapa de peligros ambientales por dinámicas fluviales.

La técnica de la Evaluación Ponderada se repite en este nuevo modelo, con la diferencia que ahora el mapa de susceptibilidad será el que tenga mayor porcentaje de peso, debido a que es el cómputo de todas las variables ambientales elegidas del área de estudio, mientras que la simulación es una probabilidad moderada de ocurrir una inundación en el río.

Se ingresan los datos y se le indica al programa nuestro rango de clasificación, que es de 1 a 3, cualitativamente de Alto a Bajo, con la posibilidad de discriminar valores que no se encuentren dentro del rango o que no sean representativos para el mapa final. (Figura 76,77,78)

Weighted overlay table

Raster	% Influence	Field	Scale Value
⌄ Mod_ind_2016_rio	30	Value	↶
		0	1
		2	2
		4	4
		NODATA	NODATA
⌄ Weighte_tif1	70	Value	↶
		0	1
		2	2
		3	3
		4	4
		NODATA	NODATA

Sum of influence: 100

Set Equal Influence

Evaluation scale: 1 to 9 by 1

From: To: By:

Figura 76. Capas de información en la herramienta Evaluación ponderada.
Fuente: Elaboración propia

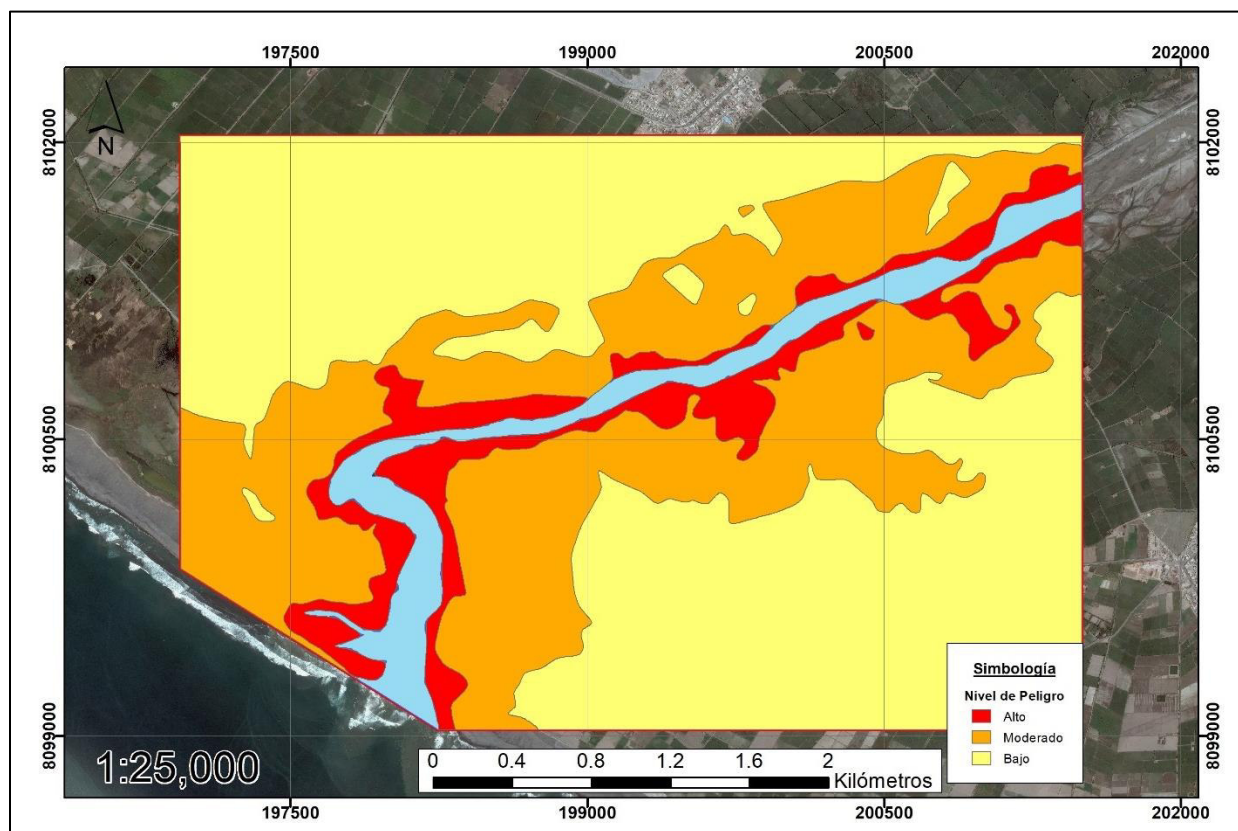


Figura 77. Modelo final de peligros ambientales por dinámicas fluviales.
Fuente: Elaboración propia

Grados de Peligro	Descripción	Área
Alto	<p>Son áreas que se encuentran muy cercanas al cauce actual del río o están dentro de él. Las formas de relieve que se encuentran son terrazas inundables, de poca altura con respecto al río y sin una estructura interna definida. Geológicamente, son zonas con depósitos fluviales recientes, como arenas, limo, gravas, las cuales, al no estar consolidados, no ofrecen resistencia ante la erosión fluvial y se sobresatura la napa freática rápidamente. Están compuestos por arbustos pequeños, pocos juncuales o carecen de vegetación.</p> <p>Debido a estas características se consideran zonas de Alto Peligro, ya que se saturan de agua rápidamente en el subsuelo, no tienen desniveles importantes y no hay vegetación que impida el paso del agua.</p>	15.63 ha
Moderado	<p>Las formas de relieve que se encuentran son terrazas fluviales inundables, algunas zonas de albuferas y parte de las terrazas marinas en el sector del estuario del río. Son zonas de poca altura con respecto al río y presentan algunas depresiones dejadas por efecto de las dinámicas fluviales en años anteriores. Se encuentran cercanas al cauce y en algunos sectores dentro de este.</p> <p>Geológicamente, son principalmente depósitos fluviales recientes, y un sector pequeño de depósitos marinos, en el estuario del río. Se encuentra vegetación de matorral, pastizales salinos, y monte ribereño de poca altura. Debido a su extensión son las zonas que se debe prestar mayor atención, ya que tienen características muy similares a las zonas de peligro muy alto, pero están más cercanas a las zonas de actividad agrícola intensiva y son la primera barrera ante una inundación fluvial.</p>	978.91 ha
Bajo	<p>Son las zonas más alejadas del cauce actual del río Tambo. En estas zonas se desarrollan las principales ciudades y otras actividades no relacionadas a la agricultura. Geológicamente están compuestas por depósitos aluviales y algunos sectores con depósitos fluviales muy antiguos. Las formas de relieve son terrazas fluviales antiguas y terrazas aluviales, de alturas variables y buena estructura litológica. La vegetación de esta zona es urbana, con arbustos y algunas zonas de matorral cercanos a los cultivos. Debido a sus características ambientales, no serían afectadas directamente en un evento de inundación fluvial extremo.</p>	55.26 ha

Figura 78. Cuadro donde se describen los niveles de peligro del modelo de peligros ambientales en el área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 5

DISCUSIONES

5.1. Comparación de Resultados con otros Modelos aplicados en Perú

La metodología aplicada puede ser comparada con otros resultados de modelos que existen actualmente en Perú (Figura 79).

La primera discusión es sobre el mapa final de CENEPRED (1), en el cual indica que el mapa final de riesgo por inundaciones debe estar centrado en la afectación de las casas, cuando debería ser en el medio físico que rodea, ya que las condiciones sociales y de vulnerabilidad son cambiantes a un ritmo distinto que las condiciones físicas.

El segundo de ellos, es los modelos que propone ANA (2) indicando que los modelos deben ser resultados numéricos y responden solo a las características hidrológicas del río a modelar. Es decir, se basan solo en los tiempos de retorno para poder lograr un modelo de inundación con diferentes tiempos de retorno.

El tercero es un modelo antiguo, que propuso INDECI-ANA (3) para la construcción de escenarios de peligros por inundaciones, es un modelo más ajustado a la realidad, pero tiene la desventaja de no haber sido actualizado y quedado obsoleto porque las condiciones físicas del medio son afectadas y modificadas fácilmente por las dinámicas hidrológicas.

La propuesta que se desarrolla a partir del modelo de peligros realizado por esta investigación, es considerar a todas las variables ambientales representativas al momento de realizar un modelo de peligros ambientales; es decir, no solo considerar la topografía del cauce como tope límite de la inundación, sino también las particularidades del territorio donde se desarrollaran las dinámicas fluviales.

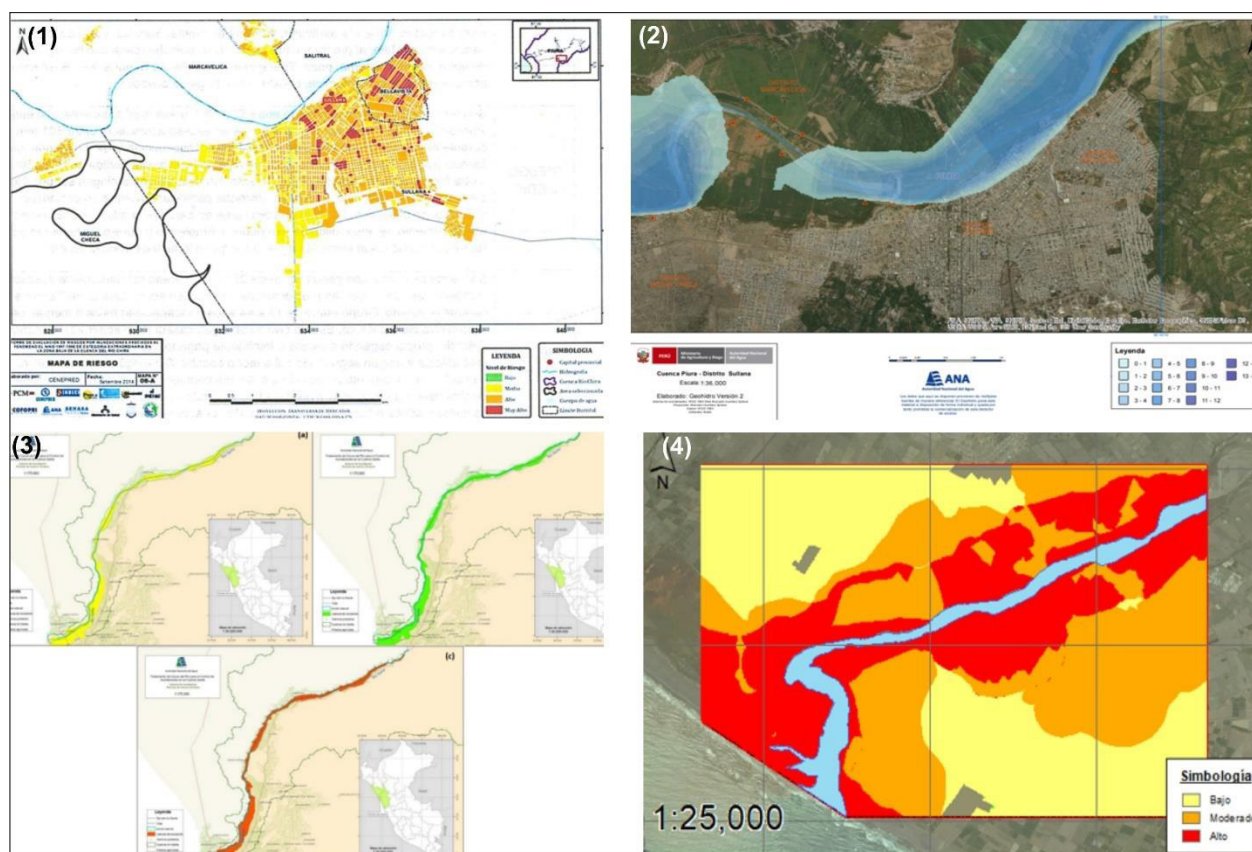


Figura 79. Comparación de Resultados de modelos de inundaciones en el Perú con el resultado del modelo generado. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

1. Las dinámicas fluviales limitan la actividad agrícola en el área de estudio, directamente a las zonas que se encuentran cercanas al cauce del río, modificando totalmente las unidades de relieve y vegetación, tal como lo predice el modelo elaborado. Un aproximado de 228.50 ha de cultivos podrían ser afectados en caso de una inundación tras registrarse un caudal extremo en la cuenca baja del río Tambo.
2. Los peligros ambientales por dinámicas fluviales en la cuenca baja del río Tambo se pueden zonificar en tres grados de afectación. El grado Alto corresponde a un área de 116.13 ha; el grado Moderado corresponde a un área de 430.27 ha y el grado Bajo corresponde a 672.25 ha.
3. Las zonas críticas de peligros es el resultado de la integración de las zonas de peligro alto y moderado, debido a que sus características físicas son muy similares. En su conjunto estas representan 546.40 ha de 1218.65 ha; es decir, un aproximado de 44% del total de área de investigación podría ser afectado por un evento de inundación de grandes magnitudes.
4. Una de las ventajas del modelo desarrollado es la flexibilidad del cambio de influencia. Es decir, si se puede actualizar la información de las variables periódicamente, se podría tener mayor exactitud con el modelo resultante, y realizar escenarios de mayor frecuencia y mejor precisión.
5. La ventaja metodológica del modelo desarrollado es que las variables utilizadas son las que cuentan con mayor información en otros valles o cauces de aguas superficiales, por lo que el modelo se puede replicar fácilmente a otras localidades como un estudio previo.

6.2 Recomendaciones

1. La elaboración de estudios más detallados por parte de instituciones permitirá desarrollar un plan de trabajo en conjunto para evitar daños a los cultivos existentes en la zona, así como preservar la vida y las obras de infraestructura que actualmente existen en la zona de estudio.
2. El diseño de obras para la mitigación de los eventos de inundación del río Tambo deben ser consultados y autorizados por la Jefatura del Santuario Nacional Lagunas de Mejía pues está demostrado que en la desembocadura se desarrolla un ecosistema único que es refugio para aves migratorias y especies endémicas del valle.
3. Considerar las zonas críticas (peligro alto y moderado) que se describen en esta investigación como información de primera mano para asegurar la rentabilidad de inversión en terrenos de cultivos, pues un evento de inundación extrema tendría un comportamiento similar al descrito en el mapa final de inundaciones.
4. Mejorar el sistema de rotación de cultivos, pues con el retraso de lluvias en la cuenca alta y la poca disponibilidad de agua en las épocas de estiaje, el riego de cultivos por inundación se hará insostenible en los siguientes años.
5. El uso de sistemas de información geográfica por dirigentes locales y autoridades locales mejorarían el desarrollo de planes agrícolas y pecuarios, así como también evitarían la pérdida de inversión en zonas están expuestas a peligros ambientales por dinámicas fluviales del río Tambo.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). (2002). *Estudio sobre el control de inundaciones y prevención de deslizamientos de tierra en el área metropolitana de Tegucigalpa de la República de Honduras*. Tegucigalpa, Honduras: Nikken Consultants Inc.
- Alayo, H. (2016). MINAM. Recuperado el 26 de Setiembre de 2018, de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/02/06-Henrry-Alayo-El-Santuario-Nacional-Lagunas-de-Mej%C3%ADa-y-su-relaci%C3%B3n-con-la-agricultura-en-el-Valle-del-R%C3%ADo-Tambo.pdf>
- Ancajima, R. (2017). *Hidráulica Inca*. Recuperado el 30 de 10 de 2018, de <https://hidraulicainca.com/acerca-de/uso-ancestral-del-territorio-en-el-peru/asi-afrontaban-los-incas-los-fenomenos-naturales-en-el-tahuantinsuyo/>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2010). *Procedimiento y Guía para la Delimitación de Faja Marginal*. Lima: Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos - ANA.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2011). *Tratamiento del Cauce del río para el Control de Inundaciones en la Cuenca Santa*. Lima: Dirección de estudios de proyectos multisectoriales - ANA.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2017). *Estudio Básico de la Demanda de Control de Inundaciones en la República del Perú*. Lima.
- Autoridad Nacional del Agua. (2018). *Geoportal de la Autoridad Nacional del Agua*. Recuperado el 31 de Octubre de 2018, de <http://www.ana.gob.pe/noticia/geoportal-de-la-autoridad-nacional-del-agua>
- Baretino, D., Diéz, H., & Llorente, I. (2009). *Metodología para la Elaboración de Cartografía de Peligrosidad por Avenidas e Inundaciones* (Primera ed.). Madrid, España: IGME.
- Basharat, M., Shah, H., & Hameed, N. A. (2016). Landslide susceptibility mapping using GIS and weighted overlay method: a case study from NW Himalayas, Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 9:292.

- Bellido, E., & Guevara, C. (1963). *Carta geológica 35-S: Punta de Bombón y Cledesí*. Lima: Lima.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). (2014). *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales 2a. ed.* Lima: Dirección de Gestión de Procesos - CENEPRED.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). (2014). *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Inundaciones Fluviales*. Lima: Dirección de Gestión de Procesos - CENEPRED.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). (2017). *Informe de Evaluación de Riesgo por Inundación Pluvial en el Área de Influencia del Distrito de Veintiséis de Octubre, Provincia y Departamento de Piura*. Lima: Biblioteca Nacional.
- Corporación OSSO. (2018). *Proyecto Desinventar.org*. Recuperado el 30 de Octubre de 2018, de <https://www.desinventar.org/es/desinventar.html>
- Deán Valdivia. (s.f). Recuperado el 01 de Agosto de 2018, de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_De%C3%A1n_Valdivia
- Díez Herrero, A., Lain Huerta, L., & Llorente Isidro, A. (2006). *Mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones. Métodos, experiencias y aplicaciones*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia.
- Eduardo López de Romaña. (s.f.). *Wikipedia*. Recuperado el 15 de Agosto de 2018, de https://es.wikipedia.org/wiki/Eduardo_López_de_Romaña
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD). (1994). *Directrices para la prevención de los Desastres Naturales, la preparación para casos de Desastre y la Mitigación de sus efectos: La Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres Naturales Yokohama, Japón, del 23 al 27 de mayo de 1994s*. Palais de Nations, Suiza: EIRD.
- García, C. W. (2004). *El sistema complejo de la Cuenca Hidrográfica*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Gobierno de Mendoza. (2016). *Aquabook*. Recuperado el 03 de Noviembre de 2018, de http://aquabook.agua.gob.ar/378_0

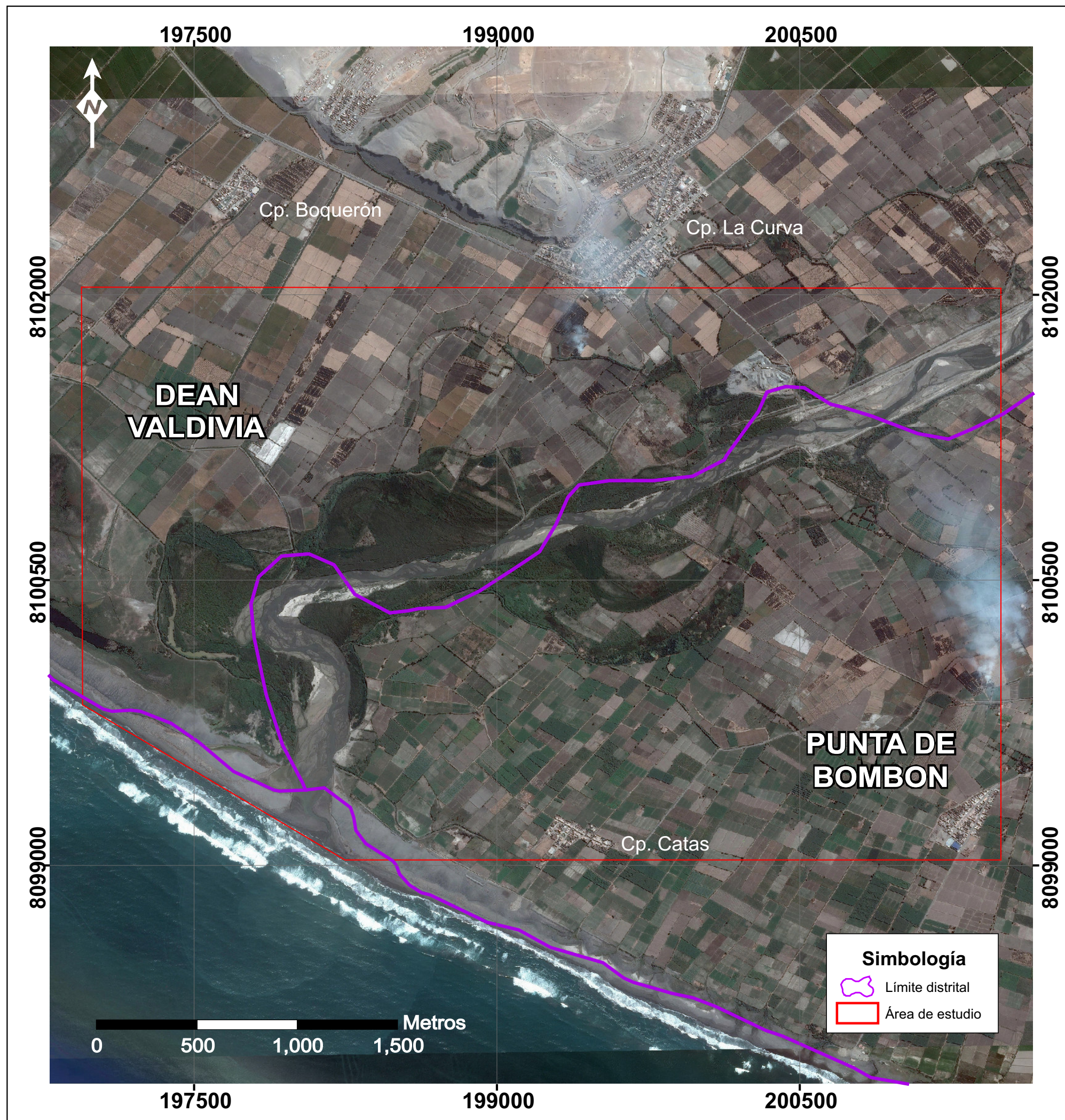
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2008). *Atlas Geográfico Nacional*. Lima: IGN.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (2010). *Mapa de susceptibilidad física del Perú*. Lima: DGAR - INGENMET.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (2018). *Carta Geológica Nacional*.
Obtenido de INGENMET: <http://www.ingemmet.gob.pe/carta-geologica-nacional>
- Instituto Nacional de Desarrollo (INADE). (2001). *Balance hidrológico en los valles de Tambo, Moquegua e Ilo*. Lima: Lima.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2017). *Población total entre los años 2000 al 2015*. Recuperado el 12 de Setiembre de 2017, de <https://proyectos.inei.gob.pe/web/poblacion/>
- IUSS Working Group WRB. (2015). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014*. Roma: Informes sobre recursos mundiales de suelos.
- Klauer, A. (2000). *El mundo Pre inka: Los abismos del Cóndor*. Lima: Nueva Historia. doi:9972-817-02-4
- Lugo, H. (1989). *Diccionario Geomorfológico*. Mexico D. F.
- Meléndez, J., & Pérez, W. (2011). *Guía Geomorfológica 2011. Primera aproximación*. Lima, Perú: CGP.
- Meneses, J. M. (1998). Cómo elevar la eficiencia del riego por gravedad en el cultivo de la caña. *Boletín de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*, 8.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (1972). *Evaluación de los recursos aguas superficial y condiciones climáticas del valle de Tambo*. Lima: Lima.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2005). *Estudio de factibilidad Afianzamiento hídrico del valle del Tambo*. Lima: Lima.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2018). *Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI)*. Recuperado el 02 de 11 de 2018, de <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/220>
- Ministerio de Agricultura y Riego(MINAGRI). (2000). *Monitoreo de Aguas Superficiales*. Lima: Lima.


- Ministerio de Medio Ambiente - España. (2004). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*. Madrid: Solana e hijos A. G.
- Ministerio del ambiente (MINAM) - Santuario Nacional Lagunas de Mejía. (2010). *Guía para la flórmula del Santuario Nacional Lagunas de Mejía* (Primera ed.). (K. A. Condori, Ed.) Arequipa: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2011). *Mapa de vulnerabilidad física del Perú*. Lima: DGOT - MINAM.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). *Mapa de susceptibilidad física del Perú: zonas propensas a inundaciones y deslizamientos en la Costa y Sierra frente a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos*. Lima: DGOT - MINAM.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). *Orientaciones básicas sobre el Ordenamiento Territorial en el Perú*. Lima: DGOT - MINAM.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). *Plan Maestro del Santuario Nacional Lagunas de Mejía 2015 - 2019*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Oberreuter, R. (2016). *Análisis comparativo entre marcos de acción de Hyogo y marcos de acción de Sendai*. Santiago, Chile: Instituto de Geografía - PUC.
- O'Brien, J., & Pierre, Y. J. (1988). Laboratory Analysis of Mudflow properties. *Journal of Hydraulic Engineering*, 114(8).
- O'Brien, J., Pierre, Y. J., & Fullerton, W. (1993). Two dimensional water flood and mudflood simulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 119(2), 224-259.
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR). (2010). Resumen de conferencias por el día de la Reducción de Riesgos de desastres. *UNISDR*.
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR). (2015). *GAR 2015. Hacia el desarrollo sostenible: El futuro de la gestión del riesgo de desastres*. Ginebra: Imprimerie Gonnet, Belley, Francia.
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR). (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015 - 2030*. Ginebra, Suiza: ICLUX.

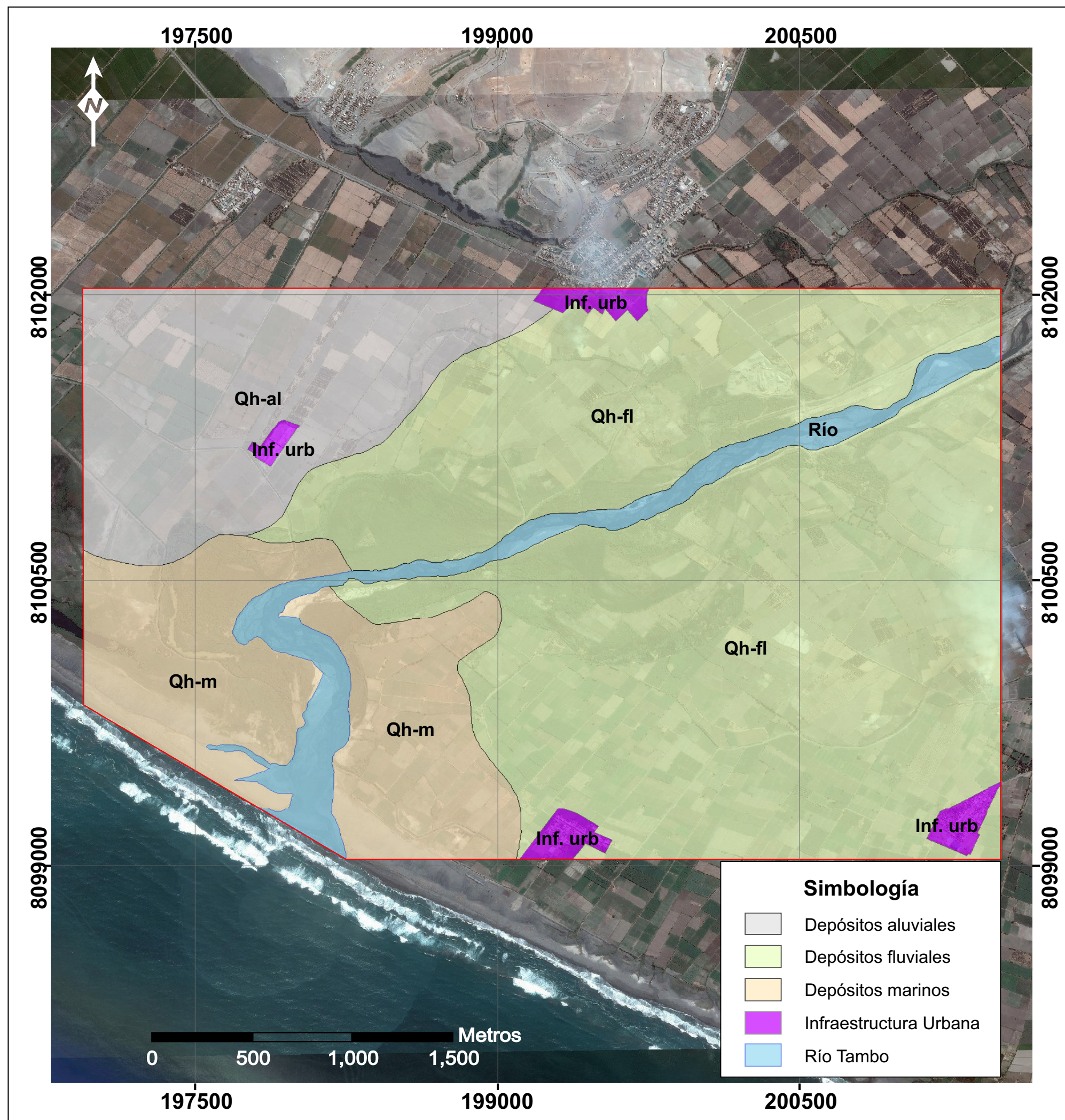
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN). (1974). *Inventario, Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Costa: Cuencas de los Ríos Quilca y Tambo*. Lima: ONERN.
- Olcina cantos, J., & Díez Herrero, A. (Enero-Junio de 2017). Cartografía de inundaciones en España. *Estudios Geográficos*, 283-315. doi:10.3989/estgeogra.201710
- Olcina, J. (2012). De los mapas de zonas afectadas a las cartografías de riesgo de inundación en España. *Anales de Geografía*, 91-131. Recuperado el 30 de 10 de 2018, de http://dx.doi.org/10.5209/rev_AGUC.2012.v32.n1.39310
- Palacios, H. (1972). *Zona de Inundación en el curso inferior del río Piura*. Lima: Servicio Geológico y Minero.
- Pedraza, J. G. (1996). *Geomorfología: Principios, Métodos y Aplicaciones*. Madrid: Editorial Rueda S.L.
- Proyecto Especial Regional de Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente (PER IMA). (2012). *La experiencia de aplicación de metodologías y técnicas en el levantamiento de información ambiental*. Cusco: CTAR Cusco.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas* (Vol. 4). Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Pulgar, J. V. (1940). *Las ocho regiones naturales del Perú*. Lima: IPGH.
- Rahman, M. ., (2007). Flood Hazard Zonation-A GIS aided Multi Criteria Evaluation (MCE) Approach with Remotely Sensed Data. *International Journal of Geoinformatics*.
- Raimondi, A. (1929). *El Perú, Itinerario de viajes*. Lima: Biblioteca Nacional del Perú.
- Ranya F., S. O. (2015). Flood Risk Map Based on GIS, and Multicriteria Techniques (Case Study Terengganu Malaysia). *Journal of Geographic Information System*, 348-357.
- Red Muqui. (2011). *Valle de Tambo- Islay: Territorio, agua y derechos locales en riesgo con la minería a tajo abierto*. Lima: Red Muqui, Red de Propuesta y Acción.
- Ritter, C. (1859). *Die Erdkunde im Verhältnis zur Natur und Geschichte des Menschen*. Berlín.
- Rittinghouse, J., & Ransome, J. (2016). *Cloud computing*. CRC Press.


- Saharia, M., Pierre-Emmanuel, K., Vergara, H., Gourley, J., Hong, Y., & M., G. (2016). Mapping Flash Flood Severity in the United States. *American Meteorological Society*, 397-411. doi:10.1175/JHM-D-16-0082.1
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP). (2018). *SERNANP*. Recuperado el 25 de Agosto de 2018, de <http://www.sernanp.gob.pe/ques-es-un-anp>
- Sociedad Geográfica de Lima. (2012). *¿Qué es la cuenca hidrológica?* Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA). (2015). *Actualidad Ambiental*. Recuperado el 24 de Agosto de 2018, de <http://www.actualidadambiental.pe/?p=29617>
- Thornthwaite, C. (1948). An Approach Toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 55-94.
- Tomlinson, R. (2008). *Thinking about GIS*. California: ESRI.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres de Colombia (UNGRD). (27 de 10 de 2017). Proyecto de fortalecimiento de la capacidad de Manejo de Riesgo de Inundaciones en la República de Colombia, y la perspectiva a futuro”. Bogotá, Colombia. Recuperado el 01 de 11 de 2018, de http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/gesti%C3%B3n_del_riesgo/_Fortalecimiento_de_la_capacidad_de_manejo_de_inundaciones.pdf
- Valderrama, P., Cárdenas, J., & Carlotto, V. (2007). Simulaciones FLO 2D en las ciudades de Urubamba y Ollantaytambo, Cusco. *Boletín Sociedad Geológica del Perú* 102, 43-62.
- Valderrama, P., Huarez, C., Araujo, G., & Fidel, L. (2016). *Dinámica del deslizamiento de Sigwas*. Lima: INGEMMET.
- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vasquez, I., Diaz, J., . . . Alcántara, J. (2016). *Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas*. Lima: Fondo editorial - UNALM.
- Vasquez, S. (2016). *Geoquímica de los pasivos mineros como parte de los estudios geoambientales en INGEMMET*. Lima: INGEMMET. Recuperado el 04 de Noviembre de 2018, de <http://www.camara-alemana.org.pe/downloads/161021-BLOQUE2-3-Shianny-Vasquez-INGEMMET.pdf>
- Villacorta, S., Lionel, F., & Zavala, B. (2012). Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa del Perú. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 3, 393 - 399 .
- Villón, M. (2011). *Hidrología*. Lima: Editorial Villón.

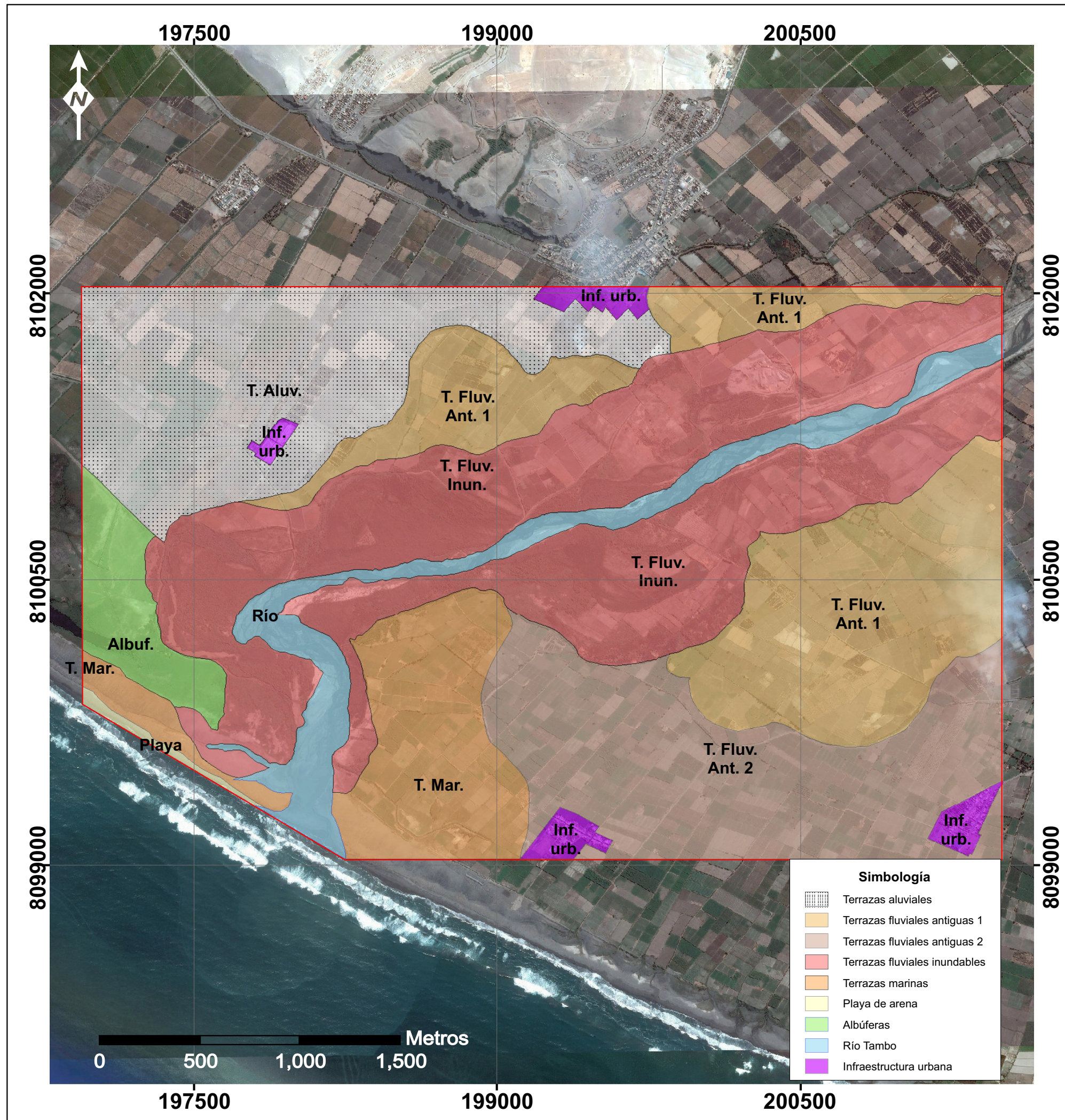
ANEXOS




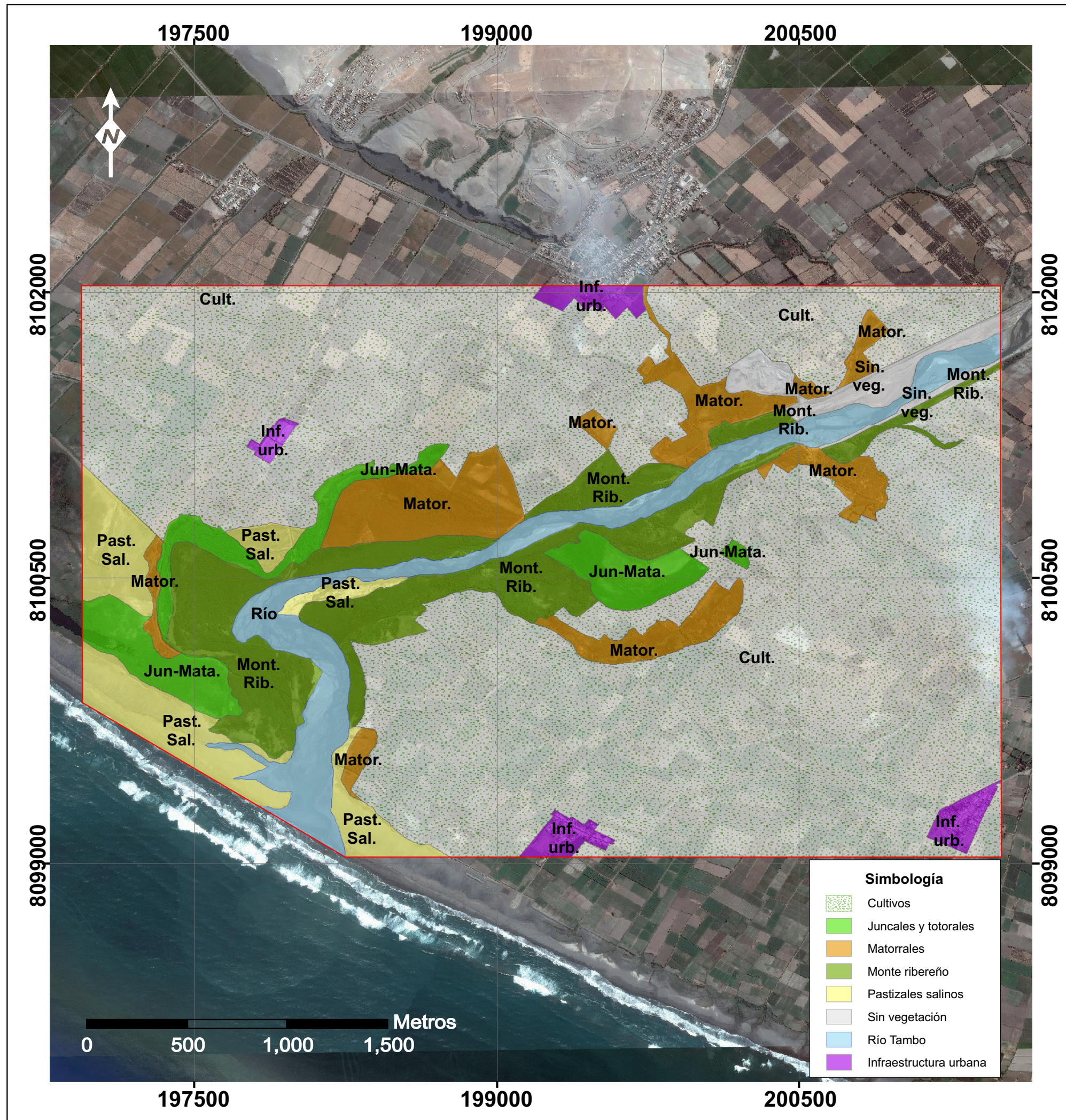
 Universidad Nacional Mayor de San Marcos Facultad de Ciencias Sociales E.P Geografía	
Tesis: Estudio de peligros ambientales por dinámicas fluviales en la cuenca baja del río Tambo Caso: Distrito de Dean Valdivia y Punta de Bombón, provincia de Islay, Arequipa	
Mapa N° 01	MAPA DE UBICACIÓN
Asesor: Geog. Miguel Ernesto Alva Huayaney	Tesista: Bach. Christian Miguel Huaréz Yarleque
Escala: 1:25 000	Datum: WGS 84 UTM 19-S
Fuente: -Elaboración propia -Imagen QuickBird 2016 - Google Earth	Fecha: Noviembre 2018




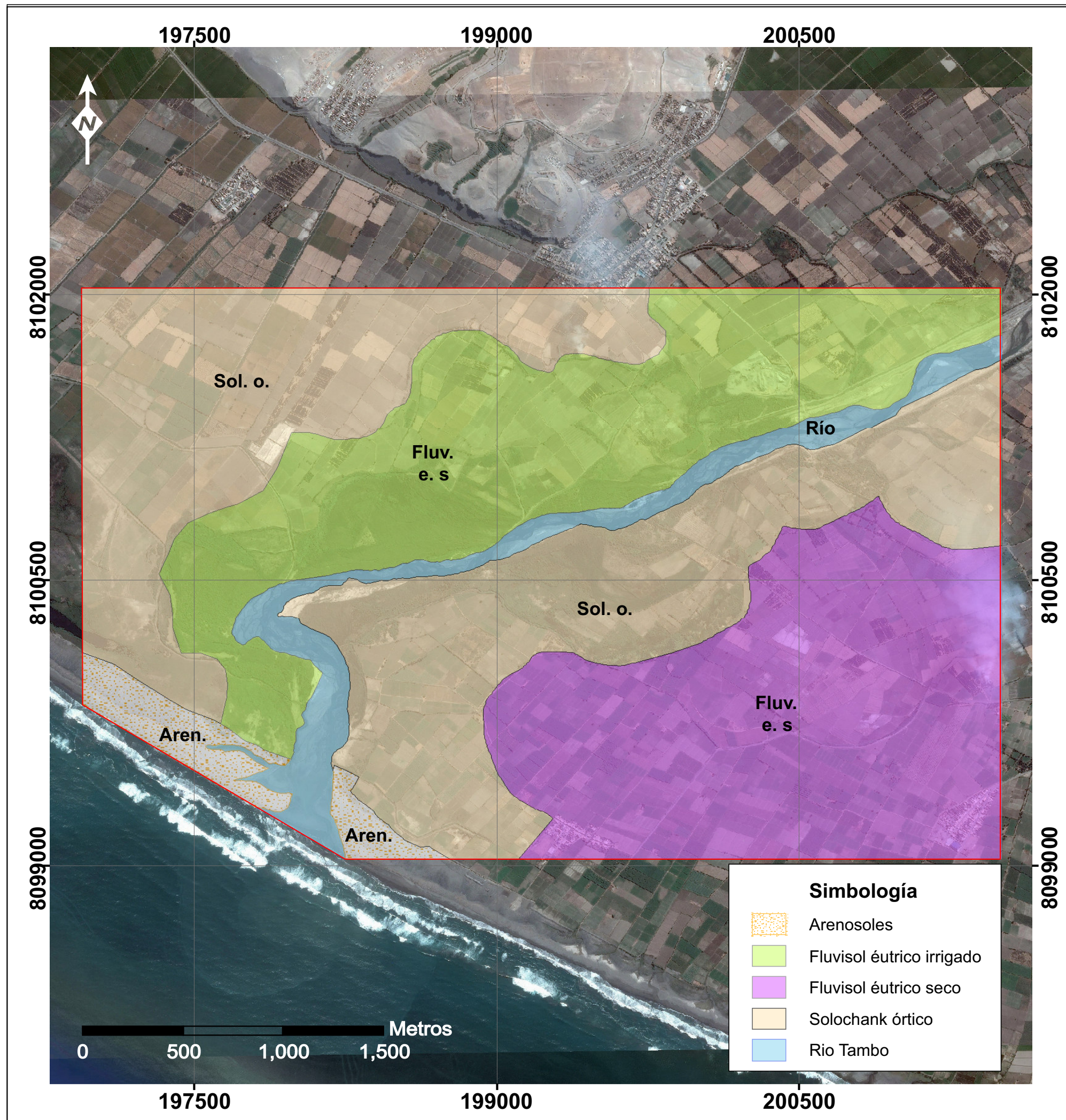
 Universidad Nacional Mayor de San Marcos Facultad de Ciencias Sociales E.P Geografía	
Tesis: Estudio de peligros ambientales por dinámicas fluviales en la cuenca baja del río Tambo Caso: Distrito de Dean Valdivia y Punta de Bombón, provincia de Islay, Arequipa	
Mapa N° 02	MAPA GEOLÓGICO
Asesor: Geog. Miguel Ernesto Alva Huayaney	Tesista: Bach. Christian Miguel Huarez Yarleque
Escala: 1:25 000	Datum: WGS 84 UTM 19-S
Fuente: -Elaboración propia -Carta Geológica Nacional 35-S	Fecha: Noviembre 2018




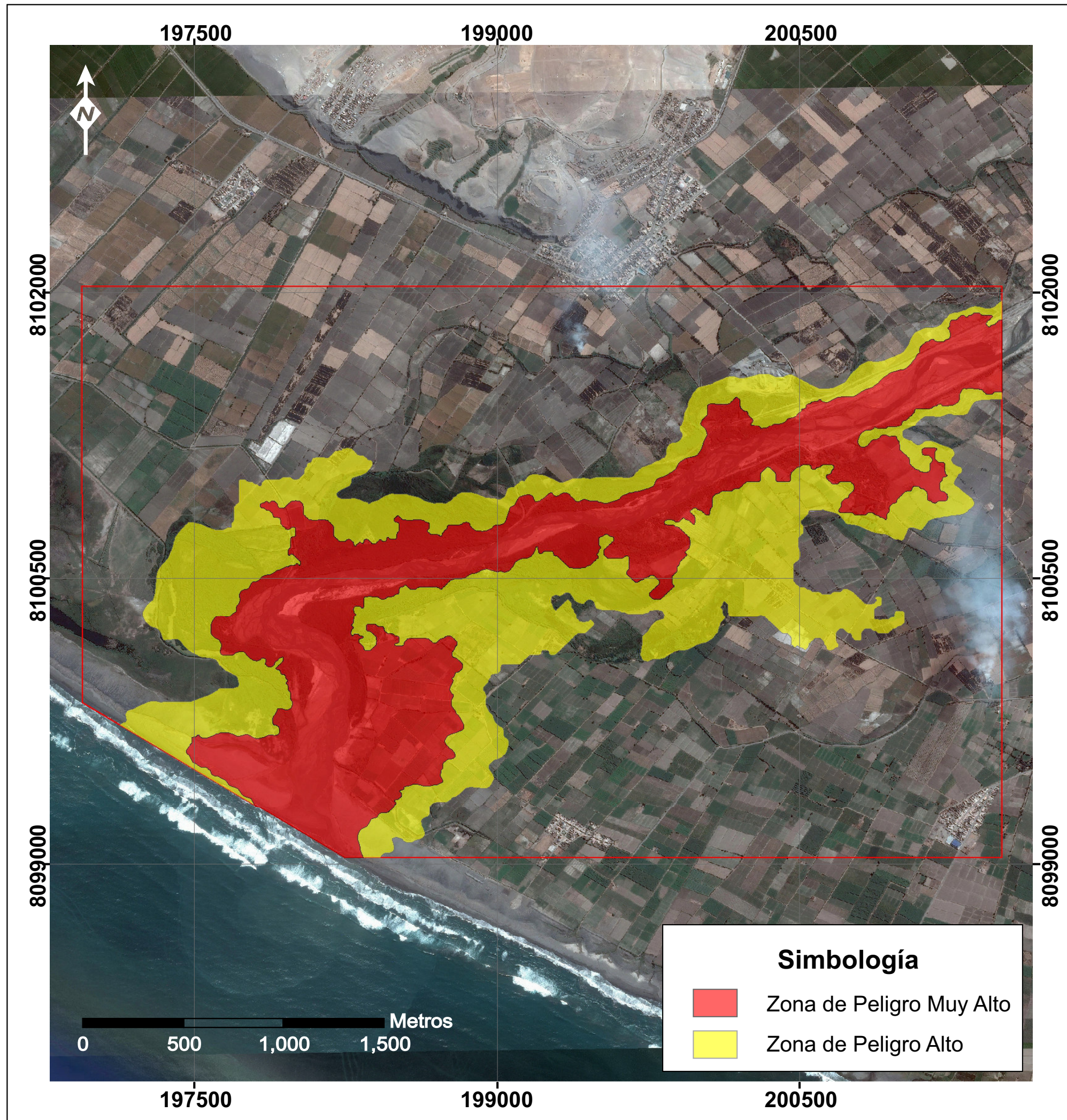
 Universidad Nacional Mayor de San Marcos Facultad de Ciencias Sociales E.P Geografía	
Tesis: Estudio de peligros ambientales por dinámicas fluviales en la cuenca baja del río Tambo Caso: Distrito de Dean Valdivia y Punta de Bombón, provincia de Islay, Arequipa	
Mapa N° 03	MAPA GEOMORFOLÓGICO
Asesor: Geog. Miguel Ernesto Alva Huayaney	Tesista: Bach. Christian Miguel Huarez Yarleque
Escala: 1:25 000	Datum: WGS 84 UTM 19-S
Fuente: -Elaboración propia -Imagen QuickBird 2016 - Google Earth	Fecha: Noviembre 2018




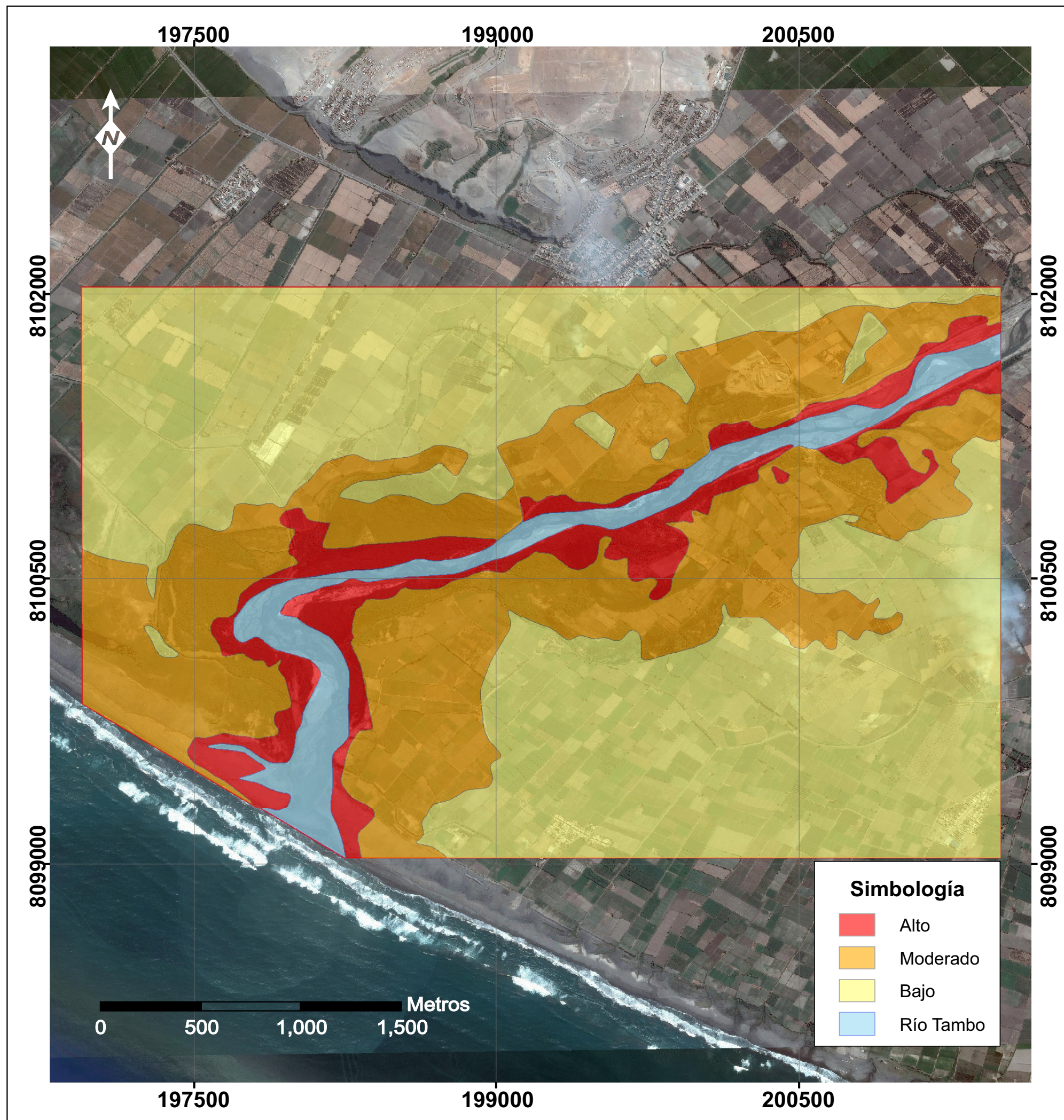
 Universidad Nacional Mayor de San Marcos Facultad de Ciencias Sociales E.P Geografía	
Tesis: Estudio de peligros ambientales por dinámicas fluviales en la cuenca baja del río Tambo Caso: Distrito de Dean Valdivia y Punta de Bombón, provincia de Islay, Arequipa	
Mapa N° 04	MAPA DE VEGETACIÓN
Asesor: Geog. Miguel Ernesto Alva Huayaney	Tesista: Bach. Christian Miguel Huaréz Yarleque
Escala: 1:25 000	Datum: WGS 84 UTM 19-S
Fuente: -Elaboración propia -Plan Maestro SNLM 2015-2019	Fecha: Noviembre 2018




 Universidad Nacional Mayor de San Marcos Facultad de Ciencias Sociales E.P Geografía	
Tesis: Estudio de peligros ambientales por dinámicas fluviales en la cuenca baja del río Tambo Caso: Distrito de Dean Valdivia y Punta de Bombón, provincia de Islay, Arequipa	
Mapa N° 05	MAPA DE SUELOS
Asesor: Geog. Miguel Ernesto Alva Huayaney	Tesista: Bach. Christian Miguel Huaréz Yarleque
Escala: 1:25 000	Datum: WGS 84 UTM 19-S
Fuente: -Elaboración propia -ONERN, Cuenca del río Tambo	Fecha: Noviembre 2018



 Universidad Nacional Mayor de San Marcos Facultad de Ciencias Sociales E.P Geografía	
Tesis: Estudio de peligros ambientales por dinámicas fluviales en la cuenca baja del río Tambo Caso: Distrito de Dean Valdivia y Punta de Bombón, provincia de Islay, Arequipa	
Mapa N° 06	MODELO DE INUNDACIÓN FLUVIAL
Asesor: Geog. Miguel Ernesto Alva Huayaney	Tesista: Bach. Christian Miguel Huarez Yarleque
Escala: 1:25 000	Datum: WGS 84 UTM 19-S
Fuente: -Elaboración propia	Fecha: Noviembre 2018



 Universidad Nacional Mayor de San Marcos Facultad de Ciencias Sociales E.P Geografía	
Tesis: Estudio de peligros ambientales por dinámicas fluviales en la cuenca baja del río Tambo Caso: Distrito de Dean Valdivia y Punta de Bombón, provincia de Islay, Arequipa	
Mapa N° 07	MAPA DE PELIGROS POR DINÁMICAS FLUVIALES
Asesor: Geog. Miguel Ernesto Alva Huayaney	Tesista: Bach. Christian Miguel Huaréz Yarleque
Escala: 1:25 000	Datum: WGS 84 UTM 19-S
Fuente: -Elaboración propia -Imagen QuickBird 2016 - Google Earth	Fecha: Noviembre 2018